

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de**  
**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA**  
**ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA EN JAVA PARA DISEÑO DE LA VIGA**  
**PRINCIPAL Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS PARA PUENTES**  
**GRÚA DE CAPACIDAD HASTA 50 TONELADAS Y LUZ ENTRE 3 Y 30 METROS**  
**CON VIGAS TIPO CAJÓN**

**AUTORES**  
**AYALA HERRERA ÁLVARO MAURICIO**  
**CABRERA DÁVALOS EDUARDO ALEXANDER**

**TUTOR**  
**ING. CHRISTIAN ANRANGO M.Sc., M.E.R.**

**Quito, febrero del 2018**

## CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Álvaro Mauricio Ayala Herrera con documento de identificación N° 172271440-7 y Eduardo Alexander Cabrera Dávalos con documento de identificación N° 172048562-0, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA EN JAVA PARA DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS PARA PUENTES GRÚA DE CAPACIDAD HASTA 50 TONELADAS Y LUZ ENTRE 3 Y 30 METROS CON VIGAS TIPO CAJÓN”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra consideración de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....  
Álvaro Mauricio Ayala Herrera  
Cédula: 172271440-7

.....  
Eduardo Alexander Cabrera Dávalos  
Cédula: 172048562-0

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA EN JAVA PARA DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS PARA PUENTES GRÚA DE CAPACIDAD HASTA 50 TONELADAS Y LUZ ENTRE 3 Y 30 METROS CON VIGAS TIPO CAJÓN, realizado por Álvaro Ayala Herrera y Eduardo Cabrera Dávalos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2018



.....  
Ing. Christian Anrango M.Sc., M.E.R.

## ÍNDICE

SIMBOLOGÍA .....	xii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	16
CAPÍTULO 1 .....	18
MARCO TEÓRICO .....	18
1.1    Grúas .....	18
1.2    Aplicaciones.....	18
1.3    Tipos de grúas de movimiento lineal .....	18
1.4    Factores para la selección adecuada de una grúa .....	19
1.5    Tipo de servicio.....	19
1.6    Puentes grúa .....	21
1.6.1    Partes principales.....	22
1.6.2    Mecanismos .....	24
CAPÍTULO 2 .....	26
CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS MECÁNICOS Y ESPECIFICACIONES ESTRUCTURALES DE DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL.....	26
2.1    Criterios para la selección de equipos mecánicos.....	26
2.1.1    Polipasto .....	26
2.1.2    Testerros.....	27
2.1.3    Motorreductor .....	27
2.2    ESPECIFICACIONES ESTRUCTURALES DE DISEÑO DE LA NORMA CMAA ESPECIFICACIONES 70 y 74.....	29
2.2.1    Material.....	29
2.2.2    Cargas .....	30
2.2.3    Esfuerzos admisibles .....	33
2.2.4    Pandeo local de patines.....	35
2.2.5    Rigidizadores .....	37
2.2.6    Deflexión .....	38

2.2.7	Requerimientos de diseño para vigas de doble alma .....	38
CAPÍTULO 3 .....		39
DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL .....		39
3.1	Parámetros de diseño .....	39
3.2	Geometría de la viga puente .....	39
3.3	Selección de elementos mecánicos .....	43
3.3.1	Polipasto .....	43
3.3.2	Testeros.....	44
3.3.3	Motorreductor.....	45
3.4	Esfuerzos permisibles .....	47
3.5	Análisis de la carga de servicio.....	48
3.5.1	Deflexión .....	54
3.5.2	Esfuerzos normales y cortantes por flexión.....	54
3.5.3	Esfuerzos normales y cortantes por torsión.....	57
3.5.4	Esfuerzos normales y cortantes combinados por flexión y torsión .....	62
3.6	Rigidizadores trasversales.....	63
3.6.1	Distancia máxima a los extremos y lugares con perforaciones considerables ...	63
3.6.2	Rigidizadores trasversales adicionales .....	64
3.7	Cargas .....	65
3.8	Combinaciones de carga .....	67
3.9	Análisis de pandeo local .....	70
3.10	Diseño por fatiga.....	72
CAPÍTULO 4 .....		76
VERIFICACIÓN DEL PROGRAMA UTILIZANDO SIMULACIONES EN SAP2000 Y SOLIDWORKS .....		76
4.1	Generalidades del programa .....	76
4.1.1	Desarrollo .....	76
4.1.2	Requisitos del sistema operativo .....	76
4.2	Primera simulación .....	76
4.2.1	Datos .....	77
4.2.2	Propiedades geométricas .....	78

4.2.2.1	Comparación de resultados.....	79
4.2.3	Elementos mecánicos .....	80
4.2.3.1	Motorreductor.....	80
4.2.3.2	Polipasto .....	81
4.2.3.3	Testeros.....	81
4.2.4	Cargas y factores de carga.....	82
4.2.5	Carga de servicio .....	83
4.2.5.1	Fuerza cortante y momento flector.....	83
4.2.5.2	Deflexión .....	85
4.2.5.3	Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad .....	86
4.2.6	Combinaciones de carga.....	87
4.2.6.1	Plano x-y.....	88
4.2.6.2	Plano x-z .....	90
4.2.6.3	Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad .....	92
4.2.7	Resumen de resultados de programa .....	93
4.3	Segunda Simulación.....	94
4.4	Tercera Simulación .....	97
4.5	Resumen de resultados.....	100
CONCLUSIONES.....		101
RECOMENDACIONES .....		102
BIBLIOGRAFÍA .....		103
ANEXOS .....		106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Espectro de carga de las grúas según la norma FEM.....	20
<b>Figura 2.</b>	Esquema de un puente grúa. ....	21
<b>Figura 3.</b>	a) Puente grúa monorriel, b) Puente grúa birriel.....	21
<b>Figura 4.</b>	Placas de fijación de los somieres de traslación .....	22
<b>Figura 5.</b>	Polipasto.....	22
<b>Figura 6.</b>	Testero.....	23

<b>Figura 7.</b> Viga carrilera (Gantry girder) .....	23
<b>Figura 8.</b> Tipos de soportes para vigas carrileras .....	24
<b>Figura 9.</b> Conexión motorreductor-bloque de rueda .....	24
<b>Figura 10.</b> Polipasto eléctrico .....	25
<b>Figura 11.</b> Trolley suspendido .....	25
<b>Figura 12.</b> Factor de servicio de un reductor .....	28
<b>Figura 13.</b> Coeficiente Ssk para puentes grúa .....	31
<b>Figura 14.</b> Parte inferior de una viga doble alma. ....	36
<b>Figura 15.</b> Sección transversal de una viga doble alma.....	39
<b>Figura 16.</b> Trolley para puentes grúa birriel. ....	48
<b>Figura 17.</b> Diagrama de cuerpo libre de un trolley para puentes grúa birriel.....	48
<b>Figura 18.</b> Esquema de la viga principal bajo cargas variables.....	49
<b>Figura 19.</b> Diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector de la viga .....	50
<b>Figura 20.</b> Corte de la viga principal bajo cargas variables a través de un punto z. ....	51
<b>Figura 21.</b> Esquema de la viga principal bajo cargas constantes. ....	52
<b>Figura 22.</b> Corte de la viga principal bajo cargas constates a través de un punto z. ....	53
<b>Figura 23.</b> Esquema de la viga principal bajo las fuerzas de la combinación de carga 2.....	67
<b>Figura 24.</b> Parámetros de diseño del puente grúa.....	77
<b>Figura 25.</b> Dimensiones de la viga principal. ....	77
<b>Figura 26.</b> Propiedades geométricas de la sección (Programa). ....	78
<b>Figura 27.</b> Propiedades geométricas de la sección (SAP2000) [kg, cm, C] .....	78
<b>Figura 28.</b> Propiedades geométricas de la sección (SolidWorks). ....	79
<b>Figura 29.</b> Motor seleccionado. ....	80
<b>Figura 30.</b> Reductor seleccionado. ....	80
<b>Figura 31.</b> Polipasto seleccionado. ....	81
<b>Figura 32.</b> Testero seleccionado. ....	81
<b>Figura 33.</b> Factores de carga.....	82
<b>Figura 34.</b> Cargas.....	82
<b>Figura 35.</b> Fuerza cortante y momento flector máximos (Programa). ....	83
<b>Figura 36.</b> Diagramas de fuerza cortante y momento flector (SAP2000). ....	83
<b>Figura 37.</b> Diagrama de momento flector (SolidWorks). ....	83

<b>Figura 38.</b> Diagrama de fuerza cortante (SolidWorks).	84
<b>Figura 39.</b> Deflexión máxima (Programa).	85
<b>Figura 40.</b> Deflexión (SAP2000).	85
<b>Figura 41.</b> Deflexión (SolidWorks).	85
<b>Figura 42.</b> Esfuerzos de Von Mises y factores de seguridad (Programa).	86
<b>Figura 43.</b> Esfuerzo de Von Mises (SolidWorks).	86
<b>Figura 44.</b> Factor de seguridad (SolidWorks).	87
<b>Figura 45.</b> Fuerzas del caso 2 de las combinaciones de carga.	88
<b>Figura 46.</b> Fuerza cortante y momento flector máximos en el plano x-y (Programa).	88
<b>Figura 47.</b> Diagrama de fuerza cortante en el plano x-y (SolidWorks).	88
<b>Figura 48.</b> Diagrama de momento flector en el plano x-y (SolidWorks).	89
<b>Figura 49.</b> Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y (SAP2000).	89
<b>Figura 50.</b> Fuerza cortante y momento flector máximos en el plano x-z (Programa).	90
<b>Figura 51.</b> Diagrama de fuerza cortante en el plano x-z (SolidWorks).	90
<b>Figura 52.</b> Diagrama de momento flector en el plano x-z (SolidWorks).	91
<b>Figura 53.</b> Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano x-z (SAP2000).	91
<b>Figura 54.</b> Esfuerzo de Von Mises y factores de seguridad (Programa).	92
<b>Figura 55.</b> Esfuerzo de Von Mises (SolidWorks).	92
<b>Figura 56.</b> Factor de seguridad (SolidWorks).	93
<b>Figura 57.</b> Resumen de resultados del programa.	94

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Grupo de funcionamiento de una grúa según las normas ISO y FEM	26
<b>Tabla 2.</b> Aplicaciones de cada tipo de carga de un reductor	28
<b>Tabla 3.</b> Propiedades de los aceros ASTM-A36 y ASTM-A992.	29
<b>Tabla 4.</b> Esfuerzos admisibles.	33
<b>Tabla 5.</b> Factores de diseño para pandeo local.	35
<b>Tabla 6.</b> Dimensiones de la viga principal.	40
<b>Tabla 7.</b> Requisitos de estabilidad establecidos por las especificaciones ASD.	40
<b>Tabla 8.</b> Características del polipasto SX60610200P66EF	44



<b>Tabla 9.</b> Características del testero RTN32-32.....	44
<b>Tabla 10.</b> Características del motor 3GQA113301-ASA. ....	46
<b>Tabla 11.</b> Características del reductor NRV-P063/150 con par nominal de 2195 [N.m]. ....	47
<b>Tabla 12.</b> Esfuerzos permisibles [ $kg/cm^2$ ]. ....	47
<b>Tabla 13.</b> Resultados del ángulo de torsión y sus derivadas.....	60
<b>Tabla 14.</b> Fuerzas de las combinaciones de carga. ....	67
<b>Tabla 15.</b> Esfuerzos cortantes en el apoyo A, plano x-y [ $kg/cm^2$ ]. ....	68
<b>Tabla 16.</b> Esfuerzos normales en el punto de momento máximo, plano x-y [ $kg/cm^2$ ]. ....	68
<b>Tabla 17.</b> Esfuerzos cortantes en el punto de momento máximo, plano x-y [ $kg/cm^2$ ]. ....	68
<b>Tabla 18.</b> Esfuerzos normales en el apoyo A, plano x-z [ $kg/cm^2$ ]. ....	69
<b>Tabla 19.</b> Esfuerzos cortantes en el apoyo A, plano x-z [ $kg/cm^2$ ]. ....	69
<b>Tabla 20.</b> Esfuerzos normales en el punto de momento máximo, plano x-y [ $kg/cm^2$ ]. ....	69
<b>Tabla 21.</b> Esfuerzos cortantes en el punto de momento máximo, plano x-y [ $kg/cm^2$ ]. ....	69
<b>Tabla 22.</b> Esfuerzo cortante total en el apoyo [ $kg/cm^2$ ]. ....	69
<b>Tabla 23.</b> Esfuerzo normal total en el punto de momento máximo.....	70
<b>Tabla 24.</b> Verificación de propiedades geométricas con SAP2000.....	79
<b>Tabla 25.</b> Verificación de propiedades geométricas con SolidWorks. ....	79
<b>Tabla 26.</b> Verificación de fuerza cortante y momento flector máximos con SAP2000. ....	84
<b>Tabla 27.</b> Verificación de fuerza cortante y momento flector máximos con SolidWorks. ....	84
<b>Tabla 28.</b> Verificación de la deflexión máxima con SAP2000. ....	86
<b>Tabla 29.</b> Verificación de la deflexión máxima con SolidWorks.....	86
<b>Tabla 30.</b> Verificación del esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks. ....	87
<b>Tabla 31.</b> Verificación de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y con SAP2000. ....	89
<b>Tabla 32.</b> Verificación de fuerza cortante y momento flector máximos con SolidWorks. ....	90
<b>Tabla 33.</b> Verificación de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y con SAP2000. ....	91
<b>Tabla 34.</b> Verificación de fuerza cortante y momento en el plano x-y con SolidWorks.....	92
<b>Tabla 35.</b> Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks. ....	93
<b>Tabla 36.</b> Dimensiones de la viga principal.....	95
<b>Tabla 37.</b> Elementos mecánicos seleccionados. ....	95
<b>Tabla 38.</b> Cargas ejercidas en la viga principal. ....	95
<b>Tabla 39.</b> Factores de carga. ....	96

<b>Tabla 40.</b> Verificación de parámetros de la carga de servicio con SAP2000 y SolidWorks. . .	96
<b>Tabla 41.</b> Verificación de parámetros en el plano x-y con SAP2000 y SolidWorks. ....	96
<b>Tabla 42.</b> Verificación de parámetros en el plano x-z con SAP2000 y SolidWorks. ....	97
<b>Tabla 43.</b> Dimensiones de la viga principal. ....	97
<b>Tabla 44.</b> Elementos mecánicos seleccionados. ....	98
<b>Tabla 45.</b> Cargas ejercidas en la viga principal. ....	98
<b>Tabla 46.</b> Factores de carga. ....	98
<b>Tabla 47.</b> Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks. ....	99
<b>Tabla 48.</b> Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks. ....	99
<b>Tabla 49.</b> Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks. ....	99
<b>Tabla 50.</b> Resumen de resultados de las simulaciones. ....	100

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres y a Micaela Gordón.

**Álvaro Ayala**

El presente trabajo lo dedico a Dios y a San Juan Bosco por brindarme la salud y la entereza necesaria para cumplir mis objetivos y no decaer en el camino; a mi madre por estar a mi lado incondicionalmente brindándome su amor y paciencia durante todos mis años de estudio; a mi padre por enseñarme la honradez, la perseverancia y el valor de un trabajo duro y bien realizado y a mi hermana ya que sus palabras, alegría y ejemplo me motivaron a esforzarme y lograr mis objetivos.

**Eduardo Cabrera**

## **AGRADECIMIENTO**

A todas las personas que de alguna manera aportaron para cumplir esta meta en nuestras vidas, especialmente a nuestros padres por todo su apoyo y al Ingeniero Diego Cabrera por la guía brindada durante el desarrollo del programa.

## SIMBOLOGÍA

$b$	Distancia entre almas
$c$	Distancia del patín libre
$CF$	Carga de colisión
$d$	Peralte
$DFB$	Factor de diseño para pandeo
$DL$	Carga muerta
$DLF$	Factor de carga muerta
$E$	Módulo de elasticidad
$f_b''$	Esfuerzo normal por alabeamiento
$f_b'''$	Esfuerzo normal por deflexión
$f_v'$	Esfuerzo cortante torsional
$f_v''$	Esfuerzo cortante por alabeamiento
$f_v'''$	Esfuerzo cortante por deflexión
$F.S.$	Factor de servicio del reductor
$G$	Módulo de elasticidad al cortante
$h$	Altura del alma
$H$	Altura de izaje
$H_m$	Altura de elevación media
$HLF$	Factor de carga de izaje
$i$	Relación de reducción
$IFD$	Carga horizontal por inercia
$I_{xx}$	Momento de inercia respecto al eje x
$I_{yy}$	Momento de inercia respecto al eje y
$K_t$	Rigidez torsional
$K_b$	Medida de la resistencia torsional de un perfil de alas anchas
$K_\sigma$	coeficiente de pandeo de compresión
$K_\tau$	coeficiente de pandeo de corte
$L$	Luz
$LL$	Carga nominal

$M$	Momento flector
$M_c$	Momento de torsión mínimo
$N$	Factor de seguridad
$Q$	Capacidad
$R$	Recorrido
$SK$	Carga de desgaste
$Sp$	Velocidad lineal
$T$	Par torsionante
$TL$	Carga del trolley
$V$	Fuerza cortante
$VIF$	Cargas verticales por inercia
$W$	Peso
$WB$	Distancia entre ruedas
$WD$	Diámetro de rueda
$WLO$	Carga de viento
$WLS$	Carga de viento fuera de servicio
$\bar{x}$	Eje neutro en x
$\bar{y}$	Eje neutro en y
$*$	Frecuencia de arranques
$\phi$	Ángulo de torsimiento
$\sigma$	Esfuerzo normal
$\sigma_y$	Esfuerzo de fluencia
$\sigma'$	Esfuerzo de Von Mises
$\tau$	Esfuerzo cortante
$\delta$	Deflexión
$\mu$	Coefficiente de Poisson
$\vartheta_B$	Factor de seguridad por pandeo

## RESUMEN

El diseño de puentes grúa es un proceso que conlleva, en la mayoría de casos, grandes cantidades de esfuerzo y tiempo. El presente documento está enfocado en el desarrollo de un programa que agilice el diseño de la viga principal de puentes grúa con capacidad máxima de 50 [ton]. Los métodos de cálculo utilizados se basaron en los lineamientos estructurales de la “Crane Manufacturers Association of America” (CMAA) especificaciones #70 y #74 para puentes grúa birriel y monorriel, respectivamente. En la primera etapa del proyecto, se estudiaron métodos para el cálculo de las propiedades geométricas de secciones armadas, así como criterios para el diseño de vigas de doble alma, criterios de resistencia, estabilidad local de patines y almas, estabilidad lateral de la viga, rigidez, torsión, fatiga, esfuerzo equivalente de Von Mises, etc. Adicionalmente, se estudiaron criterios para la correcta selección de los principales elementos mecánicos de un puente grúa. En la segunda etapa del proyecto, se llevó a cabo un diseño ilustrativo de la viga principal de un puente grúa tipo birriel. Las cargas ejercidas por las ruedas del trolley fueron consideradas individualmente y no como una sola carga concentrada para minimizar la fluctuación de resultados respecto a los valores reales. La tercera etapa consistió en escribir el programa utilizando el lenguaje de programación JAVA, e implementar una base de datos utilizando MySQL Workbench para habilitar la selección de los elementos mecánicos. Finalmente, el programa fue probado, y los resultados obtenidos comparados con simulaciones en SAP2000 y SolidWorks. La comparación de valores dio como resultado porcentajes de error pequeños, los cuales garantizan la exactitud y confiabilidad del programa.

**Palabras clave:** puente grúa, viga doble alma, diseño, software, simulación.

## ABSTRACT

When designing an electronic overhead travelling crane, a lot of effort and time are spent. Therefore, the main aim of this work is to develop a box girder design software to ease the calculation of EOT cranes with a maximum capacity of 50 tons. The calculation methods used were based on the structural guidelines of the Crane Manufacturers Association of America specifications #70 and #74 for double and single cranes, respectively. In the initial phase of this project, methods to calculate the geometric properties of built-up beams were studied, as well as box-girder-design criteria, such as criteria of strength, torsion, local stability of plates, lateral stability of the girder, stiffness, Von Mises stress, etc. Furthermore, criteria for the proper selection of the main mechanical elements of an EOT crane were studied. In the second phase of this project, an illustrative design of the main girder of a double-girder crane was carried out. Loads exerted by trolley wheels were considered individually and not as a single concentrated load in order to minimize the fluctuation of results in regard to the real values. The shear, bending moment, and deflection equations were deduced using principles, such as the double integration method. Eventually, these equations were maximized to determine the critical values. The third phase consisted of writing the program using the JAVA programming language, and to implement databases using MySQL Workbench in order to enable the selection of the mechanical elements. Finally, the program was tested, and the obtained results were compared to simulations in both SAP2000 and SolidWorks. The comparison of values resulted in small error percentages, which guarantee the accuracy and reliability of the program.

**Keywords:** eot crane, box girder, crane design, software, simulation.



## INTRODUCCIÓN

Los puentes grúa son mecanismos de izaje ampliamente utilizados en las industrias, principalmente en bodegas para manipular cargas pesadas y en líneas de ensamblaje para dinamizar los procesos de producción. El diseño de estos mecanismos requiere que los cálculos sean iterados varias veces para optimizar los resultados y cumplir con los requisitos de seguridad y costo; por este motivo, es un proceso que conlleva grandes cantidades de tiempo. En la actualidad, la mayoría de métodos utilizados para el diseño de puentes grúa son poco prácticos. Excel es una de las principales herramientas utilizadas por los ingenieros, pero cuenta con el inconveniente de que las hojas de cálculo son generalmente difíciles de entender para terceros. Por otro lado, los avances tecnológicos han influido cada vez más en los procedimientos de diseño. En los últimos años, se han desarrollado un gran número de programas para la modelación y simulación de elementos estructurales, facilitado en gran medida el trabajo de los ingenieros. Sin embargo, todos estos tipos de programas requieren de conocimientos técnicos, por lo que no pueden ser utilizados sin capacitación previa. El objetivo de este trabajo es desarrollar un programa que facilite el diseño de la viga principal de puentes grúa y sea sencillo de utilizar para cualquier ingeniero con conocimientos en el diseño de estos elementos. Para tal efecto, el programa será elaborado mediante interfaces gráficas de usuario y se implementará una base de datos con el objetivo de facilitar la selección de los elementos mecánicos. Las tablas de la base de datos podrán ser modificadas, de modo que pueda actualizarse y anexarse nueva información para ser utilizada en futuros proyectos.

## **OBJETIVOS**

Desarrollar un programa para el diseño de la viga principal y selección de elementos mecánicos de puentes grúa con capacidad máxima de 50 [ton].

### **Objetivos específicos**

- Analizar las especificaciones estructurales que rigen el diseño de la viga principal de puentes grúa y los criterios para la selección adecuada de los elementos mecánicos.
- Realizar el diseño de la viga principal de un puente grúa, siguiendo las especificaciones estructurales de la norma CMAA.
- Escribir el programa utilizando el lenguaje de programación Java e implementar bases de datos para la selección de los elementos mecánicos utilizando Xampp.
- Verificar los resultados del programa mediante comparación de los mismos con simulaciones en SAP 2000 y SolidWorks.

# **CAPÍTULO 1**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 Grúas**

Una grúa es una máquina destinada a elevar, descender y trasladar cargas. Las grúas están equipadas con un mecanismo, generalmente un sistema de poleas con cable o cadena, que les permite obtener ventaja mecánica para izar grandes cargas minimizando la energía necesaria [1]. Dependiendo de la carga nominal para la cual son diseñadas, las grúas pueden funcionar manualmente, con energía eléctrica, energía hidráulica, e incluso para cargas extremadamente pesadas con diésel.

### **1.2 Aplicaciones**

Las grúas son herramientas indispensables en cualquier proceso en el que se requiera manipular grandes cargas. Actualmente, son utilizadas no solo para la movilización de cargas, sino como herramientas para optimizar los procesos de producción. Por este motivo, sus aplicaciones se han extendido ampliamente en las industrias, especialmente en lugares de construcción, líneas de ensamblaje, bodegas, cuartos de máquinas, entre otros [2].

### **1.3 Tipos de grúas de movimiento lineal**

#### **Puentes grúa**

Los puentes grúa son mecanismos de izaje compuestos por una o dos vigas principales que se trasladan a lo largo de la nave industrial a través de rieles paralelos sujetos a la estructura. Las partes principales de un puente grúa son: el mecanismo de izaje o polipasto, la viga o vigas principales, los testeros y las vigas carrileras [3].

#### **Grúas pórtico**

Las grúas pórtico, a diferencia de los puentes grúa, tienen vigas principales estáticas siendo los pilares o columnas las que se movilizan sobre rieles colocados en el suelo. Su principal ventaja es que pueden ser utilizadas tanto en interiores como en exteriores.

## **Grúas ménsula**

Este tipo de grúas se moviliza a través de rieles sujetos a las paredes de la nave industrial con una viga en voladizo que sujeta el equipo de izaje. Generalmente, son grúas de uso auxiliar que circulan por debajo de puentes grúa con el fin de agilizar la producción.

### **1.4 Factores para la selección adecuada de una grúa**

La selección correcta de una grúa es crucial para garantizar la seguridad durante la operación y minimizar los costos de operación [4].

#### **1.4.1 Material transportado**

Es importante determinar el tipo de material que será transportado y sus características principales. Algunos aspectos relevantes son: identificar si el material es sólido o líquido, si es de carácter tóxico o no, si su transporte requiere de accesorios especiales de sujeción, etc.

#### **1.4.2 Capacidad de carga**

Es el peso máximo que podrá ser levantando por la grúa incluyendo todos los accesorios necesarios para trasladar las cargas, tales como: ganchos, recipientes, cadenas, bandas, etc.

#### **1.4.3 Tipo de servicio**

El tipo de servicio refleja las condiciones a las que la grúa estará sometida durante la operación. Su finalidad es permitir la selección del equipo más adecuado para cada caso en específico.

#### **1.4.4 Impacto en la producción**

Debido a que la adquisición de una grúa conlleva inversiones grandes en la mayoría de los casos, es importante realizar un estudio previo del impacto que tendrá en la empresa y los beneficios a corto y largo plazo de adquirir una de estas máquinas.

### **1.5 Tipo de servicio**

La clasificación de las grúas según el tipo de servicio considera dos factores principales: el espectro de carga que indica el porcentaje de la capacidad a la cual opera la grúa comúnmente, y el tiempo de funcionamiento medio diario.

## Espectro de carga

La “European Materials Handling Federation” (FEM) clasifica a las grúas en 4 tipos basándose en el porcentaje de carga de operación y el porcentaje de tiempo de funcionamiento.

### Carga ligera

Mecanismos de baja frecuencia de uso que operan normalmente con cargas bajas y son rara vez sometidos a carga máxima.

### Carga media

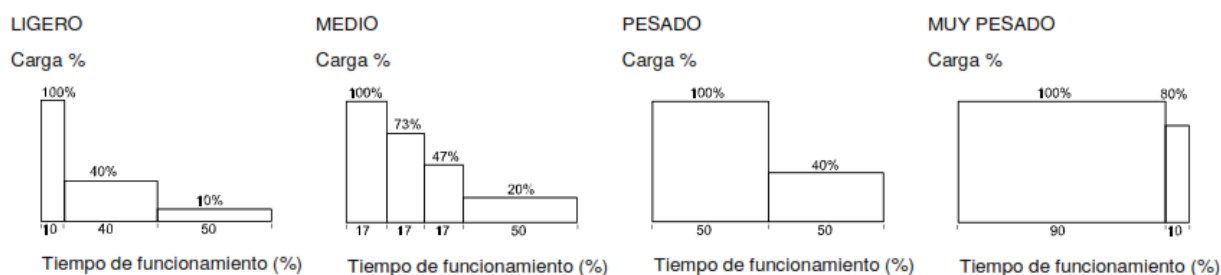
Mecanismos que trabajan frecuentemente con cargas bajas, pero sometidos ocasionalmente a cargas máximas.

### Carga pesada

Mecanismos que generalmente operan con cargas medianas y sometidos a carga máxima regularmente.

### Carga muy pesada

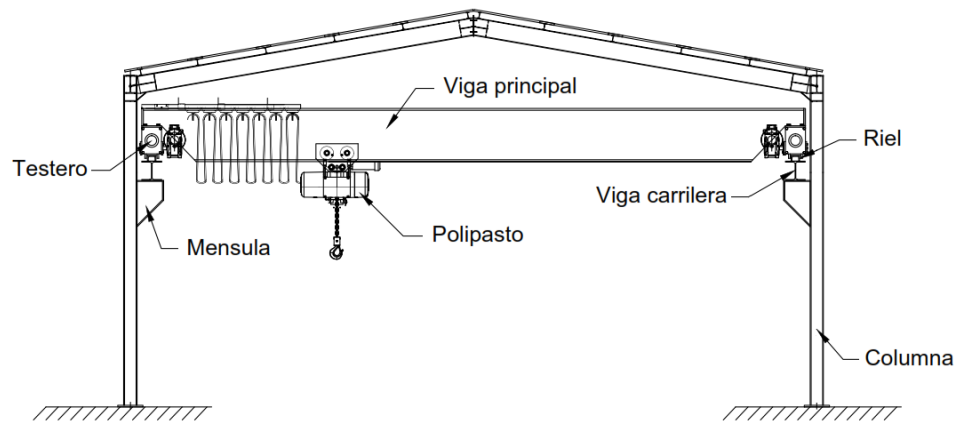
Mecanismos frecuentemente sometidos a cargas cercanas a la capacidad máxima durante su vida útil.



**Figura 1.** Espectro de carga de las grúas según la norma FEM [5].

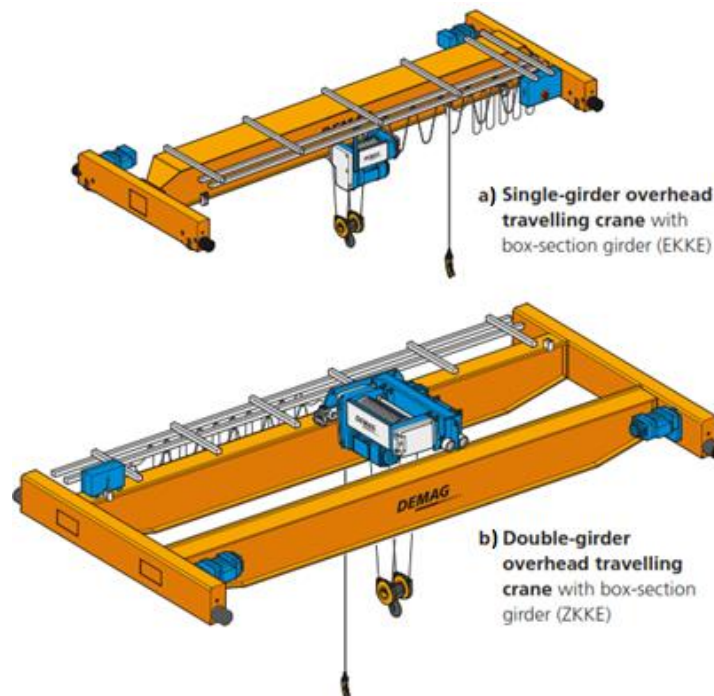
Por otro lado, la CMAA clasifica a las grúas según el espectro de carga mediante clases representadas por letras de la A hasta la F [6]. El anexo 1 muestra una tabla con la clasificación de las grúas según varias normas internacionales y sus respectivas equivalencias [7].

## 1.6 Puentes grúa



**Figura 2.** Esquema de un puente grúa.

Durante la operación de un puente grúa se distinguen tres movimientos: traslación de la viga principal, posicionamiento del polipasto y levantamiento de la carga [8]. Los puentes grúa compuestos de una viga principal son denominados monorriel y los compuestos por dos vigas principales son denominados birriel.

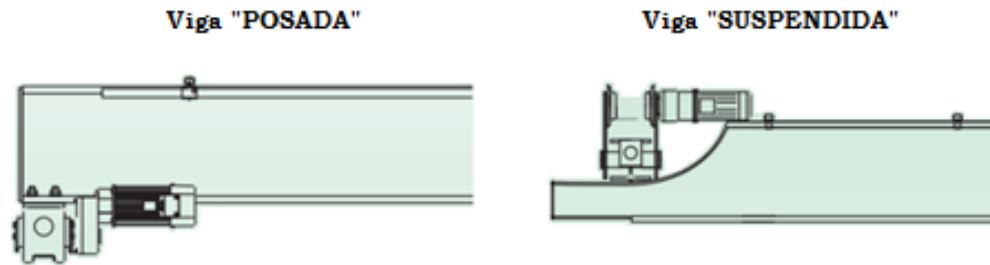


**Figura 3.** a) Puente grúa monorriel, b) Puente grúa birriel [9].

### 1.6.1 Partes principales

#### Viga principal

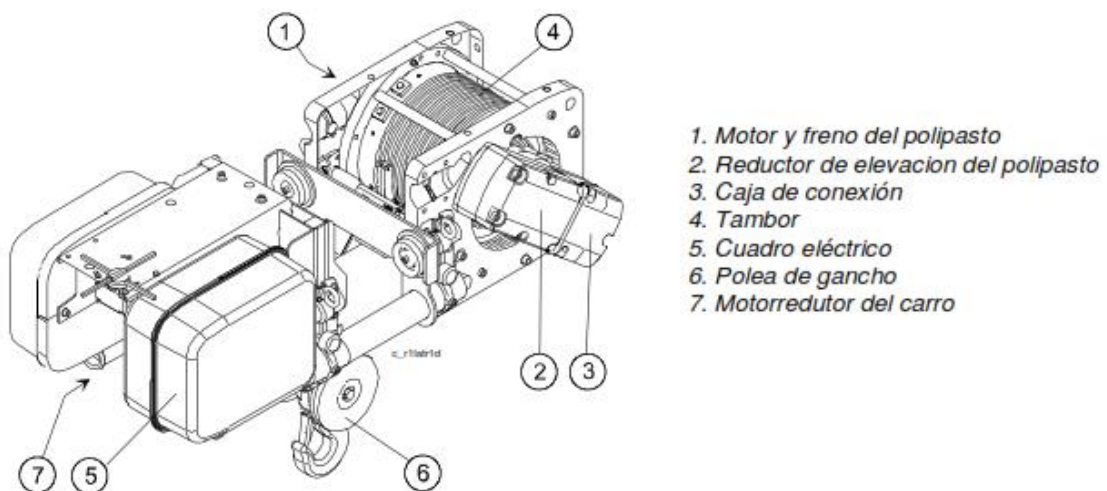
La viga principal es el elemento encargado de sostener el equipo de izaje. El tipo de perfil utilizado depende de la luz y la capacidad nominal. Cuando las cargas de izaje son altas o existen fuerzas de torsión grandes, se utilizan vigas de doble alma en lugar de vigas de perfil I [10].



**Figura 4.** Placas de fijación de los somieres de traslación [11].

#### Polipasto

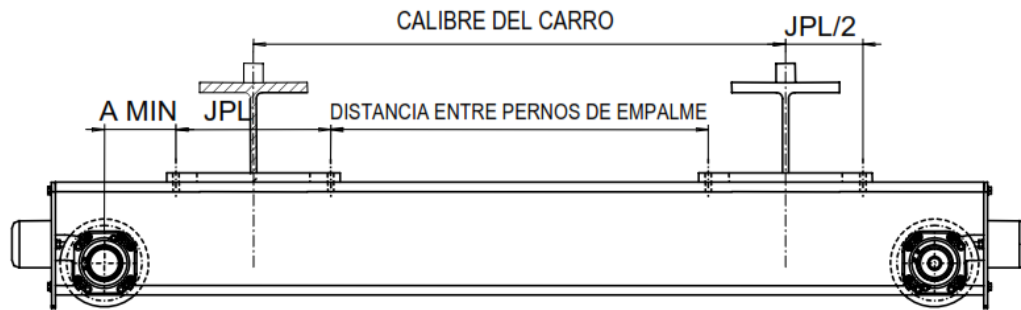
El polipasto es el dispositivo encargado de elevar o descender las cargas. Generalmente el mecanismo de sujeción es un gancho, aunque pueden adaptarse otros métodos como imanes o canastas, dependiendo de los materiales a ser transportados.



**Figura 5.** Polipasto [5].

## Testero

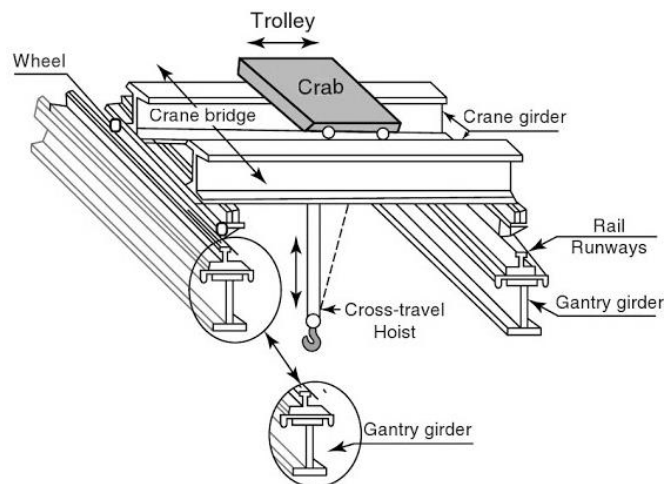
Son elementos estructurales localizados a cada lado de la viga principal, están formados con perfiles rectangulares que alojan las ruedas metálicas permitiendo el desplazamiento longitudinal.



**Figura 6.** Testero [12].

## Vigas carrileras

Son vigas paralelas sujetas en la estructura cuya función es soportar los rieles por donde se trasladan los testeros. Los rieles generalmente no se sueldan a las vigas carrileras para facilitar el mantenimiento de los mismos.

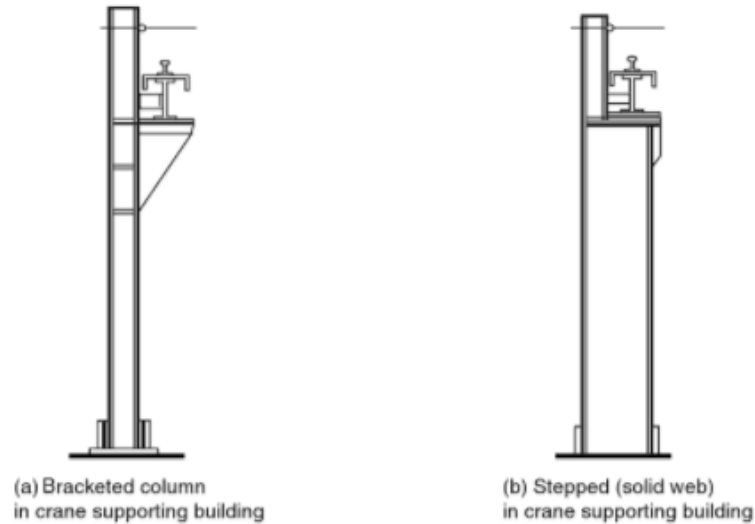


**Figura 7.** Viga carrilera (Gantry girder) [13].



## Ménsulas

Las ménsulas son el método de sujeción de vigas carrileras más utilizado para cargas livianas, para capacidades grandes se utilizan otros métodos de sujeción como: vigas escalonadas, columnas atadas, o columnas secundarias unidas a las columnas principales de la estructura.



**Figura 8.** Tipos de soportes para vigas carrileras [13].

### 1.6.2 Mecanismos

#### Mecanismo de translación de la viga principal

Este mecanismo está conformado por motorreductores de iguales características conectados a las ruedas de los testeros. Los motorreductores funcionan simultáneamente y con precisión para evitar movimientos oblicuos.



**Figura 9.** Conexión motorreductor-bloque de rueda [9].

### **Mecanismo de elevación de carga**

Es el mecanismo de mayor potencia del puente grúa. Con la finalidad de izar las cargas livianas con rapidez, los polipastos disponen de dos velocidades de elevación mediante mecanismos planetarios o cambio de marcha con piñón desplazable [14].



**Figura 10.** Polipasto eléctrico [11].

### **Mecanismo de posicionamiento del polipasto**

El trolley está conformado por motorreductores de dimensiones reducidas y un alto rendimiento que desplazan el polipasto a lo largo de la viga principal. En puentes grúa monorriel, el trolley se sujeta al patín inferior de la viga principal. Por el contrario, en puentes grúa birriel, el trolley se desplaza sobre rieles colocados sobre cada viga principal.



**Figura 11.** Trolley suspendido [9].

## CAPÍTULO 2

### CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS MECÁNICOS Y ESPECIFICACIONES ESTRUCTURALES DE DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL

#### 2.1 Criterios para la selección de equipos mecánicos

##### 2.1.1 Polipasto

Para seleccionar un polipasto es necesario conocer el grupo de funcionamiento, la capacidad, la altura de izaje y la velocidad de operación.

**Tabla 1.** Grupo de funcionamiento de una grúa según las normas ISO y FEM [5].

Espectro de carga	Tiempo de funcionamiento medio diario ISO/FEM					
	$\leq 0.5$	$\leq 1$	$\leq 2$	$\leq 4$	$\leq 8$	$\leq 16$
Ligero			M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m
Medio		M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m
Pesado	M3 1Bm	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m	
Muy pesado	M4 1Am	M5 2m	M6 3m	M7 4m		

El grupo de funcionamiento del equipo de izaje depende del espectro de carga y del tiempo de funcionamiento medio diario, este último calculado con la siguiente ecuación.

$$\Delta = \frac{2 * H_m * N * T}{S_p * 60} \quad (1)$$

Donde:

$H_m$  Altura de elevación media [m]

$N$  Número de ciclos de trabajo por hora  $\left[ \frac{\text{ciclos}}{h} \right]$

$T$  Tiempo de funcionamiento diario [h]

$S_p$  Velocidad de elevación  $\left[ \frac{m}{min} \right]$

Una vez conocidos todos los datos necesarios, se procederá a seleccionar un polipasto que cumpla con todos los parámetros establecidos. En puentes grúa monorriel, adicionalmente se verificará que el espesor del patín inferior esté dentro del rango de sujeción del trolley.

### 2.1.2 Testeros

Para seleccionar los testeros es primordial conocer el diámetro de rueda y la distancia entre ruedas mínima. Estos factores son determinados con los gráficos de los anexos 2 y 3 para puentes grúa monorriel y birriel, respectivamente [15]. Adicionalmente, la CMAA proporciona relaciones para calcular la distancia mínima entre ruedas.

Para puentes grúa monorriel:

$$WB \geq \frac{L}{8} \quad (2)$$

Para puentes grúa birriel:

$$WB \geq \frac{L}{7} \quad (3)$$

Una vez conocidos los datos, se procederá a seleccionar un testero y un bloque de rueda que cumplan con los parámetros determinados. Finalmente, se debe verificar que la carga máxima sobre cada rueda no sobrepase la carga admisible indicada en catálogos.

### 2.1.3 Motorreductor

Para seleccionar un motor es necesario conocer la potencia de entrada requerida; este valor se obtiene con la siguiente ecuación:

$$P_{r1} = \frac{M_{r2} * n_2}{9550 * n_d} \quad (4)$$

Donde:

$M_{r2}$  Momento de torsión requerido  $[N\ m]$

$n_2$  Velocidad angular de salida  $[rpm]$

$n_d$  Rendimiento dinámico del reductor

La velocidad angular está definida por la ecuación:

$$n = \frac{60 S_p}{\pi d} \quad (5)$$

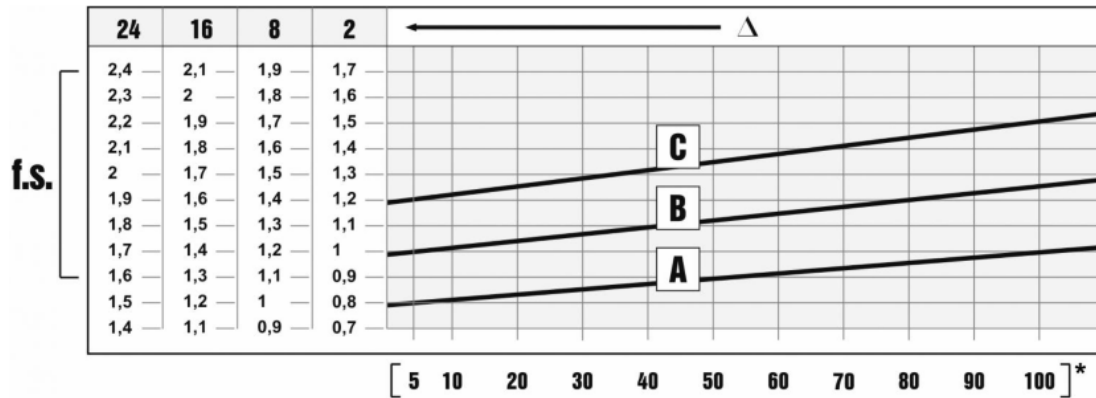
Donde:

$n$  Velocidad angular  $[rpm]$

$S_p$  Velocidad lineal  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$d$  Diámetro  $[m]$

Una vez determinada la potencia requerida, se debe seleccionar un motor con una potencia igual o mayor. El siguiente paso es seleccionar un reductor, para lo cual es necesario disponer de 3 datos: el factor de servicio, la relación de reducción y el momento de torsión mínimo.



**Figura 12.** Factor de servicio de un reductor [16].

El factor de servicio depende de las condiciones de funcionamiento a las cuales va a estar sometido el reductor. Estas condiciones están representadas por las siguientes variables:

- Tipo de carga de la máquina accionada (A, B, C).
- Tiempo de funcionamiento medio ( $\Delta$ ).
- Frecuencia de arranques (\*).

La siguiente tabla muestra las aplicaciones principales que abarca cada una de las categorías del tipo de carga.

**Tabla 2.** Aplicaciones de cada tipo de carga de un reductor [16].

Categoría	Aplicaciones
A	Tornillos de Arquímedes para materiales ligeros, ventiladores, líneas de montaje, cintas transportadoras, pequeños agitadores, elevadores, máquinas limpiadoras, máquinas llenadoras, máquinas comprobadoras.
B	Dispositivos de enrollado, montacargas, roscadoras, mezcladores, cintas transportadoras para materiales pesados, puertas corredizas, hormigoneras, mecanismos para el movimiento de las grúas, fresadoras, bombas de engranajes.
C	Agitadores para materiales pesados, prensas, centrifugadoras, cabrestantes y elevadores para materiales pesados, tornos para la rectificación, perforadoras, moledores a percusión, prensas de excéntrica, pulidoras, cortadoras.

Los mecanismos utilizados para el movimiento de grúas están incluidos en la categoría B.

La relación de reducción está definida por:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (6)$$

Donde:

$i$  Relación de reducción

$n_1$  Velocidad angular de entrada [rpm]

$n_2$  Velocidad angular de salida [rpm]

El momento de torsión mínimo se determina con la siguiente ecuación:

$$M_c = M_{r2} * F.S. \quad (7)$$

Donde:

$M_c$  Momento de torsión mínimo [N m]

$M_{r2}$  Momento de torsión requerido [N m]

$F.S.$  Factor de servicio

Una vez conocidos los datos, se procederá a seleccionar un reductor que, con la velocidad de reducción más cercana, cuente con un par nominal mayor al par mínimo calculado.

## 2.2 ESPECIFICACIONES ESTRUCTURALES DE DISEÑO DE LA NORMA CMAA ESPECIFICACIONES 70 y 74

### 2.2.1 Material

Los elementos estructurales deben ser fabricados con acero ASTM-A36 o ASTM-A992. No obstante, pueden utilizarse otros aceros que cumplan con las propiedades necesarias para soportar los esfuerzos generados durante la operación del puente grúa [17].

**Tabla 3.** Propiedades de los aceros ASTM-A36 y ASTM-A992.

Propiedad	Símbolo	ASTM-A36		ASTM-A992	
		ksi	MPa	ksi	MPa
Esfuerzo de fluencia	$\sigma_y$	36	250	50	345
Esfuerzo último	$\sigma_u$	58-80	400-550	> 65	> 450
Módulo de elasticidad	$E$	29000	200000	29000	200000

## **2.2.2 Cargas**

### **2.2.2.1 Carga muerta (DL)**

Son todas las cargas que no varían, es decir, el peso propio de la viga principal y el peso de todos los accesorios sujetos a ella.

### **2.2.2.2 Carga del trolley (TL)**

Corresponde al peso del trolley y todos los equipos sujetos a él.

### **2.2.2.3 Carga de izaje o carga nominal (LL)**

Es la carga máxima aplicada en cada ciclo de trabajo, incluido el peso de todos los accesorios de elevación necesarios para la manipulación de la carga.

### **2.2.2.4 Cargas verticales por inercia (VIF)**

Son cargas producidas por los movimientos del polipasto durante la operación y se consideran mediante la aplicación de los siguientes factores.

#### **Factor de carga muerta (DLF)**

Este factor debe ser aplicado solamente a la carga muerta del polipasto, el trolley y sus componentes.

$$DLF = 1.1 \leq 1.05 + \frac{S_p}{2000} \leq 1.2 \quad (8)$$

Donde:

$S_p$  Velocidad máxima de la viga principal o trolley  $\left[ \frac{ft}{min} \right]$

#### **Factor de carga de izaje (HLF)**

Este factor debe ser aplicado a la carga de izaje (LL) en dirección vertical. El factor de carga de izaje para puentes grúa de operación normal, en los que no se experimente un levantamiento abrupto de la carga, se determina mediante la relación:

$$HLF = 0.15 \leq 0.005 * HS \leq 0.5 \quad (9)$$

Donde:

$HS$  Velocidad de izaje  $\left[ \frac{ft}{min} \right]$

El factor de carga de izaje para puentes grúa en los que se experimentan levantamientos abruptos de la carga debe ser de al menos 50% de la carga de izaje.

### 2.2.2.5 Cargas horizontales por inercia (VIF)

Estas fuerzas se consideran aplicando el factor IFD a la carga de izaje y al peso del polipasto en dirección horizontal.

$$IFD = 0.078 \times Ac \geq 0.025 \quad (10)$$

Donde:

$Ac$  Valor de aceleración o desaceleración  $\left[\frac{ft}{s^2}\right]$

### 2.2.2.6 Cargas adicionales

#### Cargas de viento (WLO)

La carga lateral por viento, en puentes grúa expuestos, debe ser considerada como 5 libras por pie cuadrado, a menos que sea especificado de otra manera.

#### Carga de desgaste

Las fuerzas normales producidas por las ruedas en movimiento tienden a generar desgaste en la viga; en consecuencia, deben ser consideradas. Estas fuerzas se deben aplicar horizontalmente y se obtienen multiplicando la carga vertical ejercida sobre cada rueda por el coeficiente  $S_{SK}$ . El coeficiente  $S_{SK}$  es determinado mediante la siguiente figura.

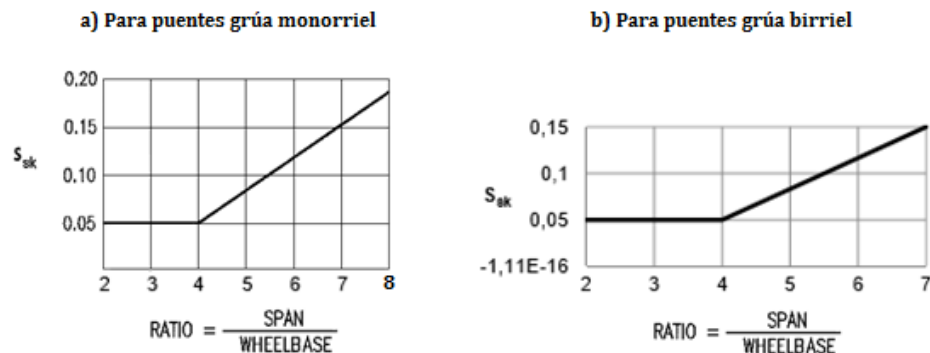


Figura 13. a) Coeficiente  $S_{sk}$  para puentes grúa monorriel, b) Coeficiente  $S_{sk}$  para puentes grúa birriel.

### 2.2.2.7 Cargas extraordinarias

#### Carga de viento fuera de servicio (WLS)

Es la carga de viento máxima que un puente grúa puede soportar fuera de servicio. Esta carga depende de la presión máxima del viento que varía con la altura sobre el nivel del suelo circundante, la ubicación geográfica y el grado de exposición a los vientos predominantes.



### Fuerzas de colisión (CF)

Para determinar la fuerza generada por colisión no se debe tomar en cuenta la carga suspendida del equipo de izaje, ni las cargas debidas a la oscilación. La energía cinética liberada en la colisión de dos grúas con masas  $M_1$ ,  $M_2$ , y a 40 por ciento de sus velocidades máximas  $V_{T1}$  y  $V_{T2}$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{M_1 M_2 (0.4V_{T1} + 0.4V_{T2})^2}{2(M_1 + M_2)} \quad (11)$$

Donde:

$E$  Energía cinética [J]

$M_{1, 2}$  Masas [kg]

$V_{T1, T2}$  Velocidades  $\left[\frac{m}{s}\right]$

#### 2.2.2.8 Fuerzas de Torsión

El momento de torsión, producido por fuerzas verticales que actúan excéntricas al eje neutro vertical de la viga, se considera como la multiplicación de las fuerzas verticales por la distancia horizontal entre la línea central de las fuerzas y el centro de cortante de la viga [17].

#### 2.2.2.9 Combinaciones de carga

Los esfuerzos combinados deben ser calculados para los siguientes casos de diseño.

**Caso 1:** Grúa de uso regular bajo carga principal.

$$DL (DLF_B) + TL (DLF_T) + LL (1 + HLF) + IFD \quad (12)$$

**Caso2:** Grúa de uso regular bajo carga principal y cargas adicionales.

$$DL (DLF_B) + TL (DLF_T) + LL (1 + HLF) + IFD + WLO + SK \quad (13)$$

**Caso 3:** Cargas extraordinarias.

**Grúa fuera de servicio sometida al viento**

$$DL + TL + WLS \quad (14)$$

**Grúa en colisión**

$$DL + TL + LL + CF \quad (15)$$

### 2.2.3 Esfuerzos admisibles

#### 2.2.3.1 Esfuerzos de compresión, tracción y corte

Tabla 4. Esfuerzos admisibles.

Combinación de carga	Esfuerzo admisible de compresión	Esfuerzo admisible de tracción	Esfuerzo admisible de corte
Caso 1	$0.60 \sigma_y$	$0.60 \sigma_y$	$0.36 \sigma_y$
Caso 2	$0.66 \sigma_y$	$0.66 \sigma_y$	$0.40 \sigma_y$
Caso 3	$0.75 \sigma_y$	$0.75 \sigma_y$	$0.45 \sigma_y$

#### 2.2.3.2 Esfuerzos combinados

Cuando las cargas producen esfuerzos de tracción y compresión en dos direcciones ortogonales, los esfuerzos combinados en la estructura deben ser calculados utilizando la ecuación mostrada a continuación:

$$\sigma_t = \sqrt{(\sigma_x)^2 + (\sigma_y)^2 - \sigma_x \sigma_y + 3(\tau_{xy})^2} \leq \sigma_{TALL} \quad (16)$$

#### 2.2.3.3 Análisis de pandeo

Con el fin de evaluar el pandeo, el alma y el patín superior se subdividen en paneles rectangulares de longitud "a" y ancho "b". Se asume a los esfuerzos críticos de pandeo como múltiplos del esfuerzo de Euler:

$$\sigma_k = K_\sigma \sigma_e \quad (17)$$

$$\tau_K = K_T \sigma_e \quad (18)$$

Donde:

$K_\sigma$  Coeficiente de pandeo de compresión

$K_T$  Coeficiente de pandeo de corte

$\sigma_e$  Esfuerzo de Euler

Los coeficientes de pandeo  $K_\sigma$  y  $K_T$  se obtienen de la tabla mostrada en el anexo 4 en función de los siguientes parámetros [17]:

- Relación  $\alpha = a/b$ .
- Tipo de carga aplicada en la placa.

El esfuerzo de Euler es determinado con la ecuación:

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2)} \left[ \frac{t}{b} \right]^2 \quad (19)$$

Donde:

- $E$  Módulo de elasticidad
- $\mu$  Coeficiente de Poisson (Para acero  $\mu=0.3$ )
- $t$  Espesor de la placa
- $b$  Ancho de la placa perpendicular a la fuerza de compresión

Si esfuerzos de compresión y de corte ocurren simultáneamente, se utilizan los esfuerzos críticos de pandeo ( $\sigma_K$  y  $\tau_K$ ) y los esfuerzos calculados ( $\sigma$  y  $\tau$ ) para establecer el esfuerzo crítico de comparación.

$$\sigma_{1K} = \frac{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}}{\left[ \frac{1 + \psi}{4} \right] \left[ \frac{\sigma}{\sigma_K} \right] + \sqrt{\left[ \frac{3 - \psi}{4} \frac{\sigma}{\sigma_K} \right]^2 + \left[ \frac{\tau}{\tau_K} \right]^2}} \quad (20)$$

Donde:

- $\sigma_{1K}$  Esfuerzo crítico de comparación
- $\sigma$  Esfuerzo de compresión real
- $\tau$  Esfuerzo cortante real
- $\sigma_K$  Esfuerzo crítico de compresión
- $\tau_K$  Esfuerzo cortante crítico
- $\psi$  Relación de esfuerzos

En el caso en que  $\tau = 0$ , entonces  $\sigma_{1K} = \sigma_K$  y en el caso en que  $\sigma = 0$ , entonces:

$$\sigma_{1K} = \tau_K \sqrt{3} \quad (21)$$

Si el esfuerzo crítico de comparación está por debajo del límite proporcional  $\sigma_P$ , se dice que el pandeo es elástico. Si este esfuerzo está por encima, entonces se dice que el pandeo es inelástico.

Para el pandeo inelástico, el esfuerzo crítico de comparación se reduce a:

$$\sigma_{1KR} = \frac{\sigma_y (\sigma_{1K})^2}{0.1836 (\sigma_y)^2 + (\sigma_{1K})^2} \quad (22)$$

Donde:

$\sigma_y$  Esfuerzo de fluencia

$\sigma_P$  Límite proporcional  $\left(\frac{\sigma_y}{1.32}\right)$

### Factores de diseño

El factor de seguridad  $\vartheta_B$  es calculado con las siguientes ecuaciones:

Para pandeo elástico:

$$\vartheta_B = \frac{\sigma_{1K}}{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}} \geq DFB \quad (23)$$

Para pandeo inelástico:

$$\vartheta_B = \frac{\sigma_{1KR}}{\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}} \geq DFB \quad (24)$$

Donde:

$DFB$  Factor de diseño

**Tabla 5.** Factores de diseño para pandeo local.

Combinación de carga	Factor de diseño DFB
Caso 1	$1.7 + 0.175(\psi - 1)$
Caso 2	$1.5 + 0.125(\psi - 1)$
Caso 3	$1.35 + 0.05(\psi - 1)$

#### 2.2.4 Pandeo local de patines

Parte inferior del patín en la transición patín-alma, punto 0:

$$\sigma_{X0} = C_{X0} \frac{P}{(t_a)^2} \quad (25)$$

$$\sigma_{Y0} = C_{Y0} \frac{P}{(t_a)^2} \quad (26)$$

Parte inferior del patín directamente debajo del punto central de contacto de la rueda, punto 1:

$$\sigma_{X1} = C_{X1} \frac{P}{(t_a)^2} \quad (27)$$

$$\sigma_{Y1} = C_{Y1} \frac{P}{(t_a)^2} \quad (28)$$

Parte superior del patín en la transición patín-alma, punto 2:

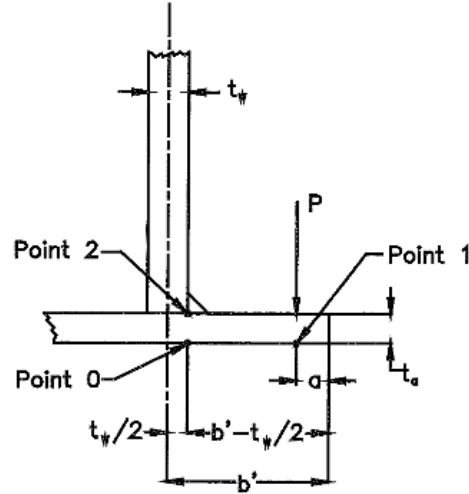
$$\sigma_{X2} = -\sigma_{X0} \quad (29)$$

$$\sigma_{Y2} = -\sigma_{Y0} \quad (30)$$

Donde:

$P$  Fuerza en cada rueda incluido HLF [ $lb$ ]

$t_a$  Espesor del patín en el punto de aplicación de la carga [ $plg$ ]



**Figura 14.** Parte inferior de una viga doble alma.

Para patines de sección paralela:

$$C_{X0} = -2.110 + 1.977 \lambda + 0.0076 e^{6.53 \lambda} \quad (31)$$

$$C_{X1} = 10.108 - 7.408 \lambda - 10.148 e^{-1.354 \lambda} \quad (32)$$

$$C_{Y0} = 0.050 - 0.580 \lambda + 0.148 e^{3.015 \lambda} \quad (33)$$

$$C_{Y1} = 2.230 - 1.49 \lambda + 1.390 e^{-18.33 \lambda} \quad (34)$$

Donde:

$$\lambda = \frac{a}{b' - \frac{t_w}{2}} \quad (35)$$

$a$  Distancia desde el borde del patín al punto de aplicación de la carga  
(Centro de contacto de la rueda) [ $plg$ ]

$b'$  Distancia entre la línea central del alma y el borde del patín [ $plg$ ]

$e$  Base Neperiana

El esfuerzo localizado en la parte superior del patín en la transición patín-alma (Punto 2) ocasionado por las cargas de las ruedas debe ser combinado con los esfuerzos del caso 2, para el caso de vigas soldadas conformadas por planchas de acero laminado en caliente.

### 2.2.5 Rigidizadores

Las vigas armadas que tienen dimensiones considerablemente grandes deben ser subdivididas en paneles con el fin de impedir el abollamiento, estas subdivisiones se logran colocando rigidizadores. El uso de rigidizadores permite incrementar la resistencia de la viga sin tener un incremento considerable en el peso [18]. La CMAA señala que las vigas de doble alma deben tener al menos un diafragma de altura total en cada extremo. Cuando la relación altura-espesor del alma excede lo siguiente, o cuando sea necesario para cumplir los requisitos de estabilidad de pandeo, se debe utilizar diafragmas de altura total o rigidizadores transversales adicionales.

$$\frac{h}{t_w} > \frac{240}{\sqrt{\tau}} \quad (36)$$

$$\frac{h}{t_w} > 150 \quad (37)$$

Donde:

$h$       Altura del alma [plg]  
 $t_w$       Espesor del alma [plg]  
 $\tau$       Esfuerzo cortante [ksi]

Los rigidizadores transversales adicionales deberán ser espaciados de modo que todos los paneles estén en conformidad con los requisitos de estabilidad de pandeo. El espacio entre los rigidizadores no debe exceder  $1\frac{1}{2}$  veces la altura del alma, ni la distancia establecida por lo siguiente:

$$a \leq h \left[ \frac{260}{\left( \frac{h}{t_w} \right)} \right]^2 \quad (38)$$

Adicionalmente, la separación entre rigidizadores en cada extremo y en lugares en los que el alma tenga perforaciones considerables, no debe exceder la altura del alma, ni la distancia establecida por lo siguiente:

$$a \leq 350 \frac{t_w}{\sqrt{\tau}} \quad (39)$$

Donde:

- $h$  Altura del alma [plg]  
 $t_w$  Espesor del alma [plg]  
 $\tau$  Esfuerzo cortante en el alma para el caso 1 [ksi]

El momento de inercia de un rigidizador transversal o longitudinal, cuando se utilice con el fin de cumplir los requisitos de estabilidad de pandeo de cizallamiento, no deberá ser inferior a:

$$I \geq \frac{1.2 h^3 t_w^3}{a^2} \quad (40)$$

Donde:

- $h$  Altura del alma, para rigidizadores transversales [plg]  
 $a$  Espacio entre rigidizadores transversales [plg]  
 $t_w$  Espesor del alma [plg]

### 2.2.6 Deflexión

Para puentes grúa monorriel, la máxima deflexión vertical en vigas no combadas producida por la carga muerta, el equipo de izaje y la carga nominal no debe exceder 1/600 de luz. En vigas combadas, la máxima deflexión no debe exceder 1/888 de luz [19]. Para puentes grúa birriel la máxima deflexión vertical de la viga principal no debe exceder 1/888 de luz [17].

### 2.2.7 Requerimientos de diseño para vigas de doble alma

$$\frac{L}{d} \leq 25 \quad (41)$$

$$\frac{L}{b} \leq 65 \quad (42)$$

Cuando no se proporcionan rigidizadores longitudinales:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1000}{\sqrt{\sigma_y}} \quad (43)$$

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL

En este capítulo se realiza el diseño de la viga principal de un puente grúa birriel que servirá como guía para la programación. El puente grúa tiene una capacidad de 17500 [kg] y opera frecuentemente con cargas medianas; su luz, recorrido, y altura de izaje son 15, 35, y 12 [m], respectivamente. El tiempo de funcionamiento diario es de aproximadamente 6 horas, con una frecuencia de operación de 2 veces por hora. Además, se considera que la viga será fabricada de acero ASTM A-36.

#### 3.1 Parámetros de diseño

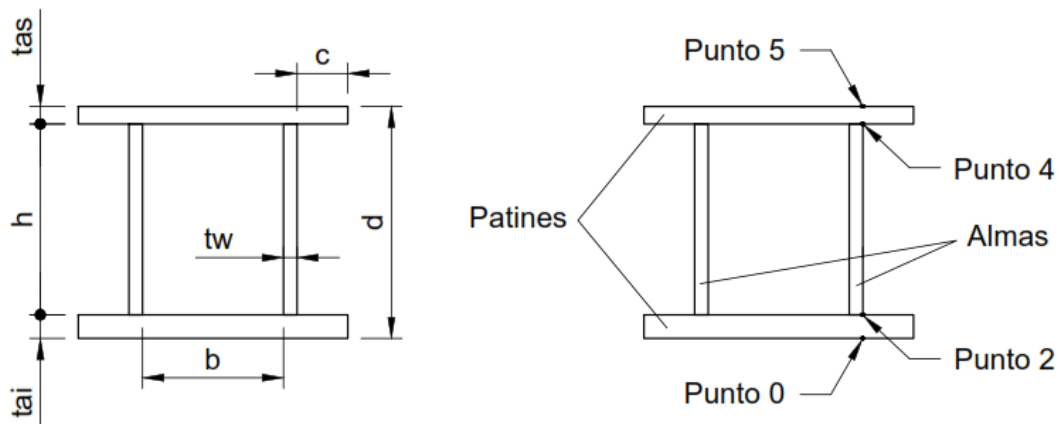
$$Q = 17500 \text{ [kg]}$$

$$L = 15 \text{ [m]}$$

$$R = 35 \text{ [m]}$$

$$H = 12 \text{ [m]}$$

#### 3.2 Geometría de la viga puente



**Figura 15.** Sección transversal de una viga doble alma.

#### Dimensiones de referencia

Las ecuaciones 38 y 39 de los requerimientos de diseño para vigas de doble alma señalados por la CMAA especificación #70, pueden ser utilizadas para determinar los valores mínimos de peralte y distancia entre almas.



$$d \geq \frac{15 * 100 [cm]}{25}$$

$$d \geq 60 [cm]$$

$$b \geq \frac{15 * 100 [cm]}{65}$$

$$b \geq 23.08 [cm]$$

## Dimensionamiento de la viga

**Tabla 6.** Dimensiones de la viga principal

Dimensión	Valor
$d$	83 [cm]
$b$	25 [cm]
$c$	6 [cm]
$ta_i$	2.2 [cm]
$ta_s$	2.2 [cm]
$t_w$	0.8 [cm]

## Análisis de la sección

Es importante verificar que el alma y los patines sean compactos para garantizar que la viga sea capaz de desarrollar la totalidad de su momento plástico antes de que ocurra la falla por pandeo local. Para tal efecto, las relaciones ancho-espesor de cada elemento deben ser comparadas con los requisitos señalados por las especificaciones ASD [20].

**Tabla 7.** Requisitos de estabilidad establecidos por las especificaciones ASD [20].

Esfuerzo de fluencia $F_y \left[ \frac{klb}{plg^2} \right]$		36	42	46	50	60	65
Patines no atiesados $\frac{65}{\sqrt{f_y}}$		10.8	10.0	9.6	9.2	8.4	8.1
Patines atiesados $\frac{190}{\sqrt{f_y}}$		31.7	29.3	28.0	26.9	24.5	23.6
Alma	$\frac{640}{\sqrt{f_y}}$	106.7	98.8	94.4	90.5	82.6	79.4
	$\frac{257}{\sqrt{f_y}}$	42.8	39.7	37.9	36.3	33.2	31.9

Patines:

$$b_f = b + 2 * t_w + 2 * c$$

$$b_f = 38.6 [cm]$$

$$\frac{38.6 [cm]}{2 * 2.2 [cm]} = 8.77 \leq 10.8$$

Almas:

$$h = d - ta_s - ta_i$$

$$h = 78.6 [cm]$$

$$\frac{78.6 [cm]}{0.8 [cm]} = 98.25 \leq 106.7$$

Debido a que las dos relaciones se cumplen, el alma y los patines son compactos.

### Estabilidad de la sección

Si la sección no satisface los requerimientos de estabilidad definidos por las ecuaciones 34, 35 y 41, se deberá utilizar rigidizadores transversales o longitudinales.

$$\frac{h}{t_w} = 98.25 \leq 150$$

$$98.25 \leq \frac{1000}{\sqrt{\sigma_y}} = 166.67$$

La sección cumple las dos relaciones analizadas. Sin embargo, la condición de la ecuación 34 está en función del esfuerzo cortante; por este motivo, será evaluada posteriormente.

### Propiedades geométricas

Área de los patines:

$$A_{fi,fs} = ta_i * b_f$$

$$A_{fi,fs} = 84.92 [cm^2]$$

Área de las almas:

$$A_w = t_w * h$$

$$A_w = 62.88 [cm^2]$$

Área total de la sección transversal:

$$A_T = \sum_{i=1}^n A_i$$

$$A_T = 295.6 cm^2$$

### Ejes neutros

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (44)$$

Donde:

$x_i$  Distancia al eje neutro del elemento

$A_i$  Área del elemento

Eje x:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$
$$\bar{x} = \frac{\frac{(b + 2t_w + 2c)^2}{2} * (ta_i + ta_s) + A_w * (b + 2t_w + 2c)}{A_T}$$

$$\bar{x} = 19.3 [cm]$$

Eje y:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$
$$\bar{y} = \frac{\frac{ta_i}{2} * A_{fi} + 2 * A_w * \left(ta_i + \frac{h}{2}\right) + A_{fs} * \left(d - \frac{ta_s}{2}\right)}{A_T}$$

$$\bar{y} = 41.5 [cm]$$

### Momentos de Inercia

$$I = \sum_{i=1}^n I_i + A_i * d_i^2 \quad (45)$$

Donde:

$I_i$  Momento de inercia de cada elemento

$A_i$  Área del elemento

$d_i$  Distancia entre ejes paralelos

Eje x:

$$I_{xx} = \sum_{i=1}^n (I_i + A_i * d_i^2)_x$$

$$I_{xx} = \frac{(b + 2t_w + 2c)}{12} * (ta_i^3 + ta_s^3) + A_{fi} * \left(\bar{y} - \frac{ta_i}{2}\right)^2 + \frac{t_w}{6} * h^3 + 2 * A_w$$

$$* \left[\bar{y} - \left(ta_i + \frac{h}{2}\right)\right]^2 + A_{fs} * \left[\bar{y} - \left(d - \frac{ta_s}{2}\right)\right]^2$$

$$I_{xx} = 342019.577 [cm^4]$$

Eje y:

$$I_{yy} = \sum_{i=1}^n (I_i + A_i * d_i^2)_y$$

$$I_{yy} = \frac{(ta_i + ta_s)}{12} * (b + 2t_w + 2c)^3 + (A_{fi} + A_{fs}) * \left(x - \frac{b + 2t_w + 2c}{2}\right)^2 + \frac{t_w^3 * h}{6} + A_w$$

$$* \left\{ \left[x - \left(c + \frac{t_w}{2}\right)\right]^2 + \left[x - \left(b + 2t_w + c - \frac{t_w}{2}\right)\right]^2 \right\}$$

$$I_{yy} = 42022.329 [cm^4]$$

Peso por unidad de longitud

$$DL_b = \rho * A_T$$

$$DL_b = 2.32 \left[\frac{kg}{cm}\right]$$

Volumen

$$Vo = A_T * L$$

$$Vo = 443400 [cm^3]$$

Peso

$$W_b = \rho * Vol$$

$$W_b = 3480.268 [kg]$$

### 3.3 Selección de elementos mecánicos

#### 3.3.1 Polipasto

A fin de garantizar la seguridad durante la operación se establece una velocidad de izaje baja.

$$\Delta = \frac{2 * 5 [m] * 2 \left[\frac{ciclos}{h}\right] * 6 [h]}{0.5 \left[\frac{m}{min}\right] * 60}$$

$$\Delta = 4.0 \left[\frac{h}{día}\right]$$

Según la clasificación de la norma FEM mostrada en la figura 1, el equipo de izaje es de carga pesada. El grupo de funcionamiento del equipo, determinado con la tabla 2, es 3m. El modelo SX60610200P66EF (Anexos 6-9), seleccionado con el catálogo “SX Price List Export” de R&M Materials Handling Inc. [21], cumple con los parámetros de selección establecidos.

**Tabla 8.** Características del polipasto SX60610200P66EF [22], [23].

Característica	Valor
Capacidad	20000 [kg]
Clase	3m
Izaje	12 [m]
Velocidad de izaje	3/0.5 $\left[\frac{m}{min}\right]$
Peso	1800 [kg]
Velocidad del trolley	20/5 $\left[\frac{m}{min}\right]$
a <sub>1</sub>	712 [mm]
a <sub>2</sub>	698 [mm]

### 3.3.2 Testeros

El puente grúa es birriel, los parámetros de selección son determinados utilizando el gráfico del anexo 3 y la distancia entre ruedas mínima utilizando la ecuación 3. El diámetro de rueda y la distancia entre ruedas, para 20 [Tn] de capacidad y luz de 15 [m], son 315 [mm] y 2800 [mm], respectivamente. La distancia mínima entre ruedas según la CMAA es:

$$WB_{et} \geq \frac{15 * 1000 [mm]}{7}$$

$$WB_{et} \geq 2142.857 [mm]$$

Para seleccionar los testeros se utiliza el catálogo “SX Price List Export” de R&M Materials Handling Inc. [21]. El modelo RTN32-32 (ver anexo 10) cuenta con una distancia entre ruedas mayor al valor designado por la CMAA y el determinado con el gráfico del anexo 3.

**Tabla 9.** Características del testero RTN32-32.

Característica	Valor
Rango de rodadura	54 – 94 [mm]
Diámetro de rueda	315 [mm]
Distancia entre ruedas	3150 [mm]
Peso	816 [kg]

Las especificaciones de los bloques de rueda y las cargas admisibles en las ruedas se muestran en el anexo 11 y 12, respectivamente. La carga admisible mínima es 148.2 [kN], equivalente a 15113.196 [kg]. La carga total es:

$$F = Q + 2 * W_b + TL + 2 * W_{et}$$

$$F = 27892.536 [kg]$$

Carga aplicada sobre cada rueda:

$$F_w = \frac{F}{4}$$

$$F_w = 6973.134 [kg]$$

Esta carga es menor a la carga admisible; por lo tanto, la selección es adecuada. Sin embargo, la diferencia entre los valores es considerable, por lo que podría considerarse seleccionar un testero con el diámetro de rueda inmediatamente inferior.

### 3.3.3 Motorreductor

El primer paso para dimensionar un motorreductor es seleccionar el motor, para lo cual es necesario determinar la potencia de entrada requerida. Los testers tienen una sola rueda motriz; por lo tanto, el peso que deberá trasladar cada motor es:

$$F_e = \frac{F}{2}$$

$$F_e = 13946.268 [kg]$$

La fuerza de rozamiento de dos superficies en contacto es proporcional a la fuerza normal [24] y es determinada a través de la siguiente ecuación, en donde el coeficiente de fricción para dos superficies de acero es 0.05 [25].

$$F_r = N * \mu$$

$$F_r = 697.313 [kg]$$

Momento de torsión requerido:

$$M_{r2} = F_r * r$$

$$M_{r2} = 1076.962 [N \cdot m]$$

La velocidad angular es calculada con la ecuación 5. Al igual que la velocidad de izaje, se establece una velocidad de traslación baja para garantizar la seguridad.

$$n_2 = \frac{60 * 0.1 \left[ \frac{m}{s} \right]}{\pi * \frac{315}{1000} [m]}$$

$$n_2 = 6.063 [rpm]$$

Con el fin de obtener la potencia requerida utilizando la ecuación 4, se asumirá que el rendimiento dinámico del reductor es 0.65; por consiguiente, el valor de la potencia requerida será eventualmente verificado cuando se conozca el valor real del rendimiento dinámico.

$$P_{r1} = \frac{1076.962 [N \cdot m] * 6.063 [rpm]}{9550 * 0.65}$$

$$P_{r1} = 1.052 [kW]$$

Para seleccionar el motor se utiliza el catálogo “Low Voltage General Purpose Motors” de ABB, mostrado en el anexo 13 [26]. El modelo seleccionado, con una potencia mayor a la potencia de entrada requerida, es el 3GQA113301-ASA.

**Tabla 10.** Características del motor 3GQA113301-ASA.

Característica	Valor
Potencia nominal	2 [kW]
Velocidad nominal	1148 [rpm]
Eficiencia	79.3 %

El siguiente paso es seleccionar un reductor, para lo cual es necesario conocer la relación de reducción y el momento torsor mínimo necesario.

$$i = \frac{1148 [rpm]}{6.063 [rpm]}$$

$$i = 189.34$$

El factor de servicio, determinado con la figura 12, es 1.2. El momento de torsión mínimo es calculado con la ecuación 7.

$$M_c = 1076.962 [N \cdot m] * 1.2$$

$$M_c = 1292.355 [N \cdot m]$$

Para seleccionar el reductor se utiliza el catálogo “Motorreductores de tornillo sinfín” de Motovario. El reductor seleccionado es de tamaño NRV-P063/150 (Ver anexo 14) [16].

**Tabla 11.** Características del reductor combinado NRV-P063/150 con par nominal de 2195 [N.m].

Característica	Valor
Par nominal	2195 [N · m]
Relación de reducción	200
Potencia nominal	1.97 [kW]
Eficiencia	0.52

Finalmente, se verifican los datos del reductor con los valores reales de cada equipo.

$$(n_2)_{real} = \frac{n_1}{i}$$

$$(n_2)_{real} = 5.74 [rpm]$$

$$(V_2)_{real} = \pi * 5.74 [rpm] * \left( \frac{315}{1000} [m] \right)$$

$$(V_2)_{real} = 5.68 \left[ \frac{m}{min} \right]$$

$$(P_{r1})_{real} = \frac{1076.962 [N m] * 5.74 [rpm]}{9550 * 0.52}$$

$$(P_{r1})_{real} = 1.25 [kW]$$

$$(P_{r1})_{real} < P_{n1}$$

$$(M_{n2})_{real} = \frac{9550 * 2 [kW]}{5.74 [rpm]} * 0.52 * 0.79$$

$$(M_{n2})_{real} = 1372.139 [N m]$$

$$(M_{n2})_{real} > M_{r2}$$

### 3.4 Esfuerzos permisibles

**Tabla 12.** Esfuerzos permisibles  $\left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$ .

Combinación de carga	Compresión	Tracción	Cortante
<b>Caso 1</b>	1518.631	1518.631	911.178
<b>Caso 2</b>	1670.494	1670.494	1012.420
<b>Caso 3</b>	1898.288	1898.288	1138.973

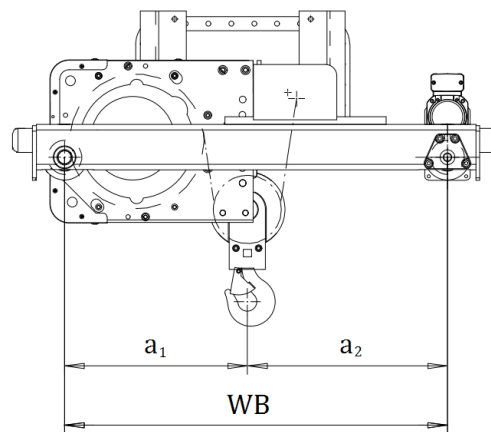


### 3.5 Análisis de la carga de servicio

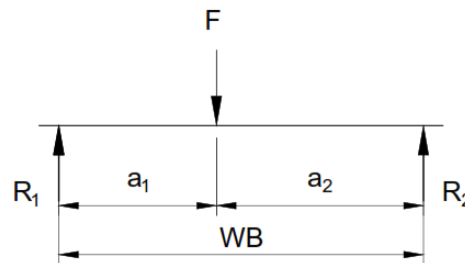
El principio de superposición define que el efecto producido por varias cargas actuando simultáneamente puede ser determinado sumando los efectos producidos por cada carga individualmente [27]. Teniendo en cuenta este principio, las cargas variables y constantes ejercidas en la viga principal serán evaluadas por separado.

#### Cargas variables

Las figuras 25 y 26 muestran el esquema y el diagrama de cuerpo libre de un trolley para puentes grúa birriel. En la mayoría de trolleys de este tipo, el polipasto no se encuentra centrado entre las ruedas; en consecuencia, las fuerzas que estas ejercen sobre la viga principal son distintas.



**Figura 16.** Trolley para puentes grúa birriel.



**Figura 17.** Diagrama de cuerpo libre de un trolley para puentes grúa birriel.

Donde:

$$F = \frac{TL + Q}{2}$$
$$F = 9650 \text{ [kg]}$$

Las reacciones  $R_1$  y  $R_2$  son calculadas aplicando la ecuación de equilibrio estático.

$$\sum M_2 = 0 \text{ (Positivo antihorariamente)}$$

$$R_1 = \frac{a_2 F}{a_1 + a_2}$$

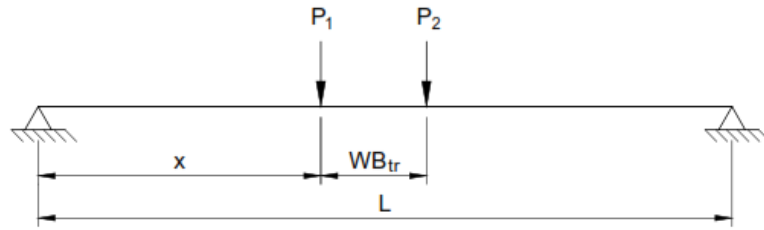
$$R_1 = 4777.092 \text{ [kg]}$$

$$\sum M_1 = 0 \text{ (Positivo antihorariamente)}$$

$$R_2 = \frac{a_1 F}{a_1 + a_2}$$

$$R_2 = 4872.908 \text{ [kg]}$$

Cuando dos cuerpos están en contacto, las fuerzas de acción y reacción producidas tienen la misma magnitud y sentido opuesto [28]; por lo tanto, las fuerzas ( $P_1$  y  $P_2$ ) que las ruedas ejercen sobre la viga son iguales a las reacciones calculadas.



**Figura 18.** Esquema de la viga principal bajo cargas variables.

$$\sum M_A = 0 \text{ (Positivo antihorariamente)}$$

$$R_B * L - P_1 * x - P_2 * (x + WB_{tr}) = 0$$

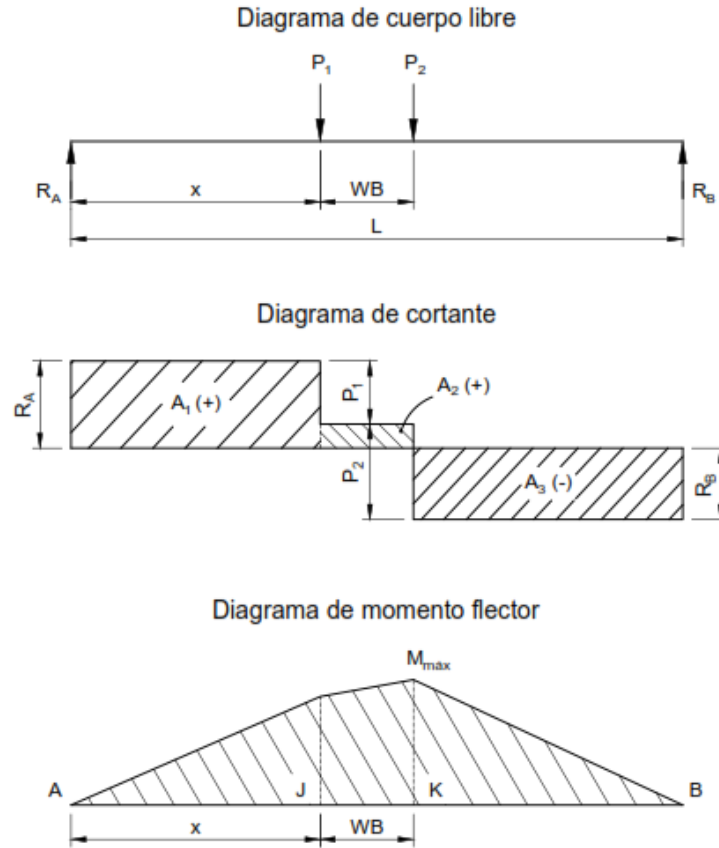
$$R_B = \frac{P_1 * x + P_2 * (x + WB_{tr})}{L}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B - P_1 - P_2 = 0$$

$$R_A = P_1 + P_2 - \frac{P_1 * x + P_2 * (x + WB_{tr})}{L}$$

Los diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector de la viga principal se muestran en la figura 28. En el diagrama de fuerza cortante, se asume que la reacción en el apoyo A será mayor a la fuerza  $P_1$ . Los siguientes cálculos se realizan bajo esta asunción.



**Figura 19.** Diagramas de cuerpo libre, fuerza cortante y momento flector de la viga principal.

La fuerza cortante máxima será:

$$V_{m\acute{a}x} = R_A = P_1 + P_2 - \frac{P_1 * x + P_2 * (x + WB_{tr})}{L}$$

El momento flector máximo está definido por la tercera área ( $A_3$ ).

$$M_{m\acute{a}x} = A_3 = R_B * (L - x - WB_{tr})$$

Desarrollando esta ecuación se obtiene:

$$M_{m\acute{a}x} = \left(-\frac{P_1 + P_2}{L}\right)x^2 + \left[\left(1 - \frac{WB_{tr}}{L}\right)P_1 + \left(1 - \frac{2 * WB_{tr}}{L}\right)P_2\right]x + \left(WB_{tr} - \frac{WB_{tr}^2}{L}\right)P_2$$

La posición crítica del polipasto es determinada maximizando la ecuación del momento flector.  
El punto descrito por la distancia x crítica será denotado con la letra C:

$$\frac{dM}{dx} = 0$$

$$x_C = \frac{\left(1 - \frac{WB_{tr}}{L}\right) P_1 + \left(1 - \frac{2 * WB_{tr}}{L}\right) P_2}{\left(2 * \frac{P_1 + P_2}{L}\right)}$$

$$x_C = 643.9 [cm]$$

El momento flector máximo se producirá en un punto D, de forma que:

$$x_D = x_C + WB_{tr}$$

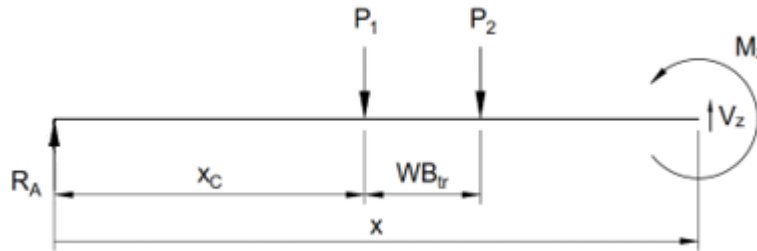
$$x_D = 784.9 [cm]$$

### Deflexión

La ecuación de la deflexión será obtenida utilizando el método de doble integración, para lo cual se supone un punto z ubicado a una distancia arbitraria x, tal que:

$$x_C + WB_{tr} < x < L$$

Realizando un corte a través del punto “z” y aplicando la ecuación de equilibrio estático se tiene:



**Figura 20.** Corte de la viga principal bajo cargas variables a través de un punto z.

$$\sum M_z = 0 \text{ (Positivo antihorariamente)}$$

$$M_z = R_A * x - P_1(x - x_C) - P_2 * (x - x_C - WB_{tr})$$

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M$$

A continuación, se muestran las integrales de esta función.

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{R_A}{2} * x^2 + C_1 - \frac{P_1}{2} (x - x_c)^2 - \frac{P_2}{2} * (x - x_c - WB_{tr})^2$$

$$EI y = \frac{R_A}{6} * x^3 + C_1 x + C_2 - \frac{P_1}{6} (x - x_c)^3 - \frac{P_2}{6} * (x - x_c - WB_{tr})^3$$

Para determinar las constantes de integración es necesario añadir condiciones adicionales relacionadas con la deflexión [29]. Para vigas simplemente apoyadas esas condiciones son:

$$Si: x = 0 \rightarrow y = 0 \quad (i)$$

$$Si: x = L \rightarrow y = 0 \quad (ii)$$

Remplazando la primera condición de borde se obtiene:

$$C_2 = 0$$

Remplazando la segunda condición de borde se obtiene:

$$C_1 = -\frac{R_A * L^2}{6} + \frac{P_1}{6L} * (L - x_c)^3 + \frac{P_2}{6L} * (L - x_c - WB_{tr})^3$$

$$C_1 = -1362541365$$

Entonces, la ecuación de la deflexión de la viga bajo cargas variables es:

$$y = \frac{\frac{R_A}{6} * x^3 - 1362541365 x - \frac{P_1}{6} (x - x_c)^3 - \frac{P_2}{6} * (x - x_c - WB_{tr})^3}{EI}$$

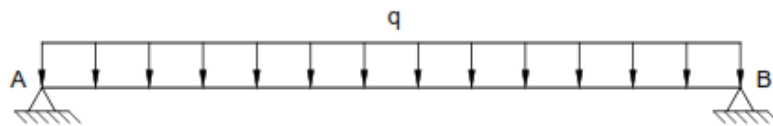
La deflexión máxima de la viga puede ser calculada con un mínimo margen de error al utilizar esta ecuación, puesto que el punto donde se produce se encuentra bastante cerca del dominio establecido. El punto de deflexión máxima se encuentra cuando:

$$\frac{dy}{dx} = 0$$

Entonces:

$$x_{\delta_{\max}} = 737.9 [cm]$$

### Cargas constantes

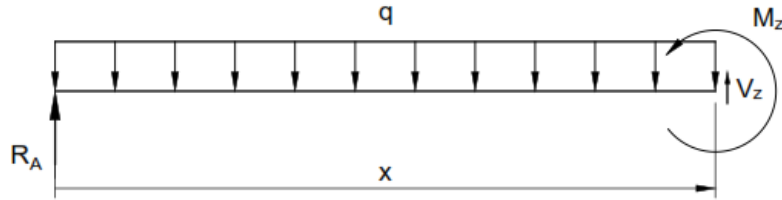


**Figura 21.** Esquema de la viga principal bajo cargas constantes.

Las fuerzas ejercidas en la viga son simétricas, entonces:

$$R_A = R_B = \frac{q * L}{2}$$

Realizando un corte a través de un punto z ubicado a una distancia arbitraria “x” se tiene:



**Figura 22.** Corte de la viga principal bajo cargas constantes a través de un punto z.

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ R_A + V - q * x &= 0 \\ V &= q \left( x - \frac{L}{2} \right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum M_z &= 0 \text{ (Positivo antihorariamente)} \\ M_z &= R_A * x - \frac{q}{2} * x^2 \\ M_z &= \frac{q}{2} (-x^2 + L * x)\end{aligned}$$

### Deflexión

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = M$$

Integrales:

$$\begin{aligned}EI \frac{dy}{dx} &= \frac{q}{2} \left( -\frac{1}{3} x^3 + \frac{L}{2} x^2 \right) + C_1 \\ EI y &= \frac{q}{2} \left( -\frac{1}{12} x^4 + \frac{L}{6} x^3 \right) + C_1 * x + C_2\end{aligned}$$

Aplicando la primera condición de borde se obtiene:

$$C_2 = 0$$

Aplicando la segunda condición de borde se obtiene:

$$C_1 * L = -\frac{q}{2} \left( -\frac{1}{12} L^4 + \frac{L}{6} L^3 \right)$$

$$C_1 = -\frac{q * L^3}{24}$$

Entonces, la ecuación de la deflexión de la viga bajo cargas constantes es:

$$y = \frac{\frac{q}{12} \left( -\frac{1}{2} x^4 + L x^3 - \frac{L^3}{2} * x \right)}{EI}$$

### 3.5.1 Deflexión

$$\delta_{m\acute{a}x}$$

$$= \frac{q_b \left( \frac{L}{12} x_{\delta_{m\acute{a}x}}^3 - \frac{1}{24} x_{\delta_{m\acute{a}x}}^4 - \frac{L^3}{24} x_{\delta_{m\acute{a}x}} \right)}{E I}$$

$$+ \frac{\frac{R_A}{6} * x_{\delta_{m\acute{a}x}}^3 - 2733146611 x_{\delta_{m\acute{a}x}} - \frac{P_1}{6} (x_{\delta_{m\acute{a}x}} - x_C)^3 - \frac{P_2}{6} * (x_{\delta_{m\acute{a}x}} - x_C - WB_{tr})^3}{E I}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 11.771 [mm]$$

Deflexión vertical admisible:

$$[\delta] = \frac{15 * 1000 [mm]}{888} = 16.892 [mm]$$

$$\delta_{m\acute{a}x} < [\delta]$$

### 3.5.2 Esfuerzos normales y cortantes por flexión

En  $x = 0$  [cm]

**Fuerza cortante máxima**

$$V_A = \left| q \left( x - \frac{L}{2} \right) \right| + P_1 + P_2 - \frac{P_1 * x_C + P_2 * (x_C + WB_{tr})}{L}$$

$$V_A = 6789.657 [kg] = V_{m\acute{a}x}$$

**Momento flector máximo**

$$M_A = 0 [kg \text{ cm}]$$

### **Esfuerzo normal por flexión**

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad (46)$$

Donde:

$M$  Momento flector

$C$  Distancia a la fibra analizada

$I$  Momento de inercia

En el patín:

$$(f_{b,A}''')_a = 0 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(f_{b,A}''')_w = 0 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

### **Esfuerzo cortante por flexión**

$$f_v''' = \frac{V * Q}{I * t} \quad (47)$$

Donde:

$V$  Fuerza cortante

$I$  Momento de inercia de la sección transversal completa

$t$  Espesor de la sección transversal en el eje analizado

$Q$  Primer momento del área respecto al eje centroidal general [30]

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i * x_i \quad (48)$$

En el patín:

$$Q_f = (ta_s * b_f) * \left( d - \bar{y} - \frac{ta_s}{2} \right)$$
$$Q_f = 3430.768 [cm^3]$$



$$(fv_A''')_f = \frac{6789.657 [kg] * 3430.768 [cm^3]}{342019.577 [cm^4] * 38.6 [cm]}$$

$$(fv_A''')_f = 1.764 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$Q_f = [(d - \bar{y} - ta_s) * 2 t_w] * \left( \frac{d - \bar{y} - ta_s}{2} \right) + (ta_s * b_f) * \left( d - \bar{y} - \frac{ta_s}{2} \right)$$

$$Q_w = 4666.36 [cm^3]$$

$$(fv_A''')_w = \frac{6789.657 [kg] * 4666.36 [cm^3]}{342019.577 [cm^4] * 1.6 [cm]}$$

$$(fv_A''')_w = 57.897 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] = \tau_{m\acute{a}x}$$

**En x = 784.9 [cm]**

**Fuerza cortante máxima**

$$V_D = \left| q \left( x - \frac{L}{2} \right) \right| + \frac{P_1 * x_c + P_2 * (x_c + WB_{tr})}{L}$$

$$V_D = 4681.451 [kg]$$

**Momento flector máximo**

$$M_D = \frac{q_b}{2} (-x_D^2 + L x_D)$$

$$+ \left\{ \left( -\frac{P_1 + P_2}{L} \right) x_c^2 + \left[ \left( 1 - \frac{WB_{tr}}{L} \right) P_1 + \left( 1 - \frac{2 WB_{tr}}{L} \right) P_2 \right] x_c \right.$$

$$\left. + \left( WB_{tr} - \frac{WB_{tr}^2}{L} \right) P_2 \right\}$$

$$M_D = 3940938.092 [kg cm] = M_{m\acute{a}x}$$

**Esfuerzo normal por flexión**

En el patín:

$$(fb_D''')_f = \frac{3940938.092 [kg cm] * 41.5 [cm]}{342019.577 [cm^4]}$$

$$(fb_D''')_f = 478.186 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(fb''')_w = \frac{3940938.092 [kg \text{ cm}] * 39.3 [cm]}{342019.577 [cm^4]}$$

$$(fb''')_w = 452.836 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

### **Esfuerzo cortante por flexión**

En el patín:

$$(fv''')_f = \frac{4681.451 [kg] * 3430.768 [cm^3]}{342019.577 [cm^4] * 38.6 [cm]}$$

$$(fv''')_f = 1.217 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(fv''')_w = \frac{4681.451 [kg] * 4666.36 [cm^3]}{342019.577 [cm^4] * 1.6 [cm]}$$

$$(fv''')_w = 39.920 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] = \tau_{m\acute{a}x}$$

### **3.5.3 Esfuerzos normales y cortantes por torsión**

Cuando se ejercen cargas excéntricas al centro de cortante de una sección transversal, se generan combinaciones de esfuerzos por flexión y torsión que pueden dividirse en 3 categorías:

- a) Esfuerzos cortantes debidos a torsión ( $f_v'$ ).
- b) Esfuerzos normales y cortantes debidos a torsión restringida ( $f_b''$ ,  $f_v''$ ).
- c) Esfuerzos normales y cortantes debidos a flexión ( $f_b'''$ ,  $f_v'''$ ).

Cuando una sección transversal tiene dos ejes de simetría, el centro de cortante de la sección coincide con la intersección de esos dos ejes [31]. La línea de acción de la carga vertical ejercida por la rueda del trolley no coincide con el eje neutro vertical de la sección; por lo tanto, es evidente que produce torsión. El cálculo del momento torsor se define en la sección 2.2.2.8.

$$T = \frac{TL + LL}{2} * \frac{b + t_w}{2}$$

$$T = 124485 [kg \text{ cm}]$$

Los esfuerzos normales y cortantes producidos por torsión se calculan en función de la deformación rotacional. El ángulo de torsión para vigas con extremos articulados y par torsionante concentrado está definido por las siguientes ecuaciones [32]:

Para:  $0 < z < \alpha L$

$$\phi = \frac{TL}{GK_t} \left[ \frac{a}{L} \left( -\frac{\sinh \frac{\beta L}{a}}{\sinh \frac{L}{a}} \right) \sinh \frac{z}{a} + \frac{\beta z}{L} \right] \quad (49)$$

Para:  $\alpha L < z < L$

$$\phi = \frac{TL}{GK_t} \left[ \frac{a}{L} \left( \frac{\sinh \frac{\alpha L}{a}}{\tanh \frac{L}{a}} \right) \sinh \frac{z}{a} - \frac{a}{L} \sinh \frac{\alpha L}{a} \cosh \frac{z}{a} - \frac{\alpha z}{L} + \alpha \right] \quad (50)$$

Donde:

$$a = \sqrt{\frac{E K_b}{G K_t}}$$

$\phi$  Ángulo de torsión

$T$  Par torsionante

$L$  Longitud

$G$  Módulo de elasticidad al cortante

$K_t$  Rigidez torsional

$K_b$  Medida de la resistencia torsional de un perfil de alas anchas

$z$  Distancia al punto analizado.

La medida de la resistencia torsional está definida por:

$$K_b = \frac{I_f h^2}{2} \quad (51)$$

Donde:

$I_f$  Momento de inercia del patín

$h$  Distancia entre ejes neutros de patines

La rigidez torsional puede determinarse considerando a los perfiles como un grupo de rectángulos unidos entre sí. De este modo, la rigidez torsional total de la sección será la suma

de las rigideces individuales de cada rectángulo que conforma el perfil, siempre y cuando la relación largo-espesor de cada rectángulo sea mayor a 10.

$$K_t = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n s_i t_i^3 \quad (52)$$

Donde:

$s_i$  Largo de cada rectángulo

$t_i$  Espesor de cada rectángulo

$$K_t = \frac{2}{3} * (b_f * t a_i^3 + h * t_w^3)$$

$$K_t = 300.837 [cm^4]$$

Medida de la resistencia torsional:

$$K_b = \frac{34.251 [cm^4] * (80.8 [cm])^2}{2}$$

$$K_b = 111806.442 [cm^6]$$

$$a = \sqrt{\frac{E K_b}{G K_t}}$$

$$a = 31.085 [cm]$$

Constantes  $\alpha$  y  $\beta$  [32]:

$$x = \alpha L$$

$$\alpha = \frac{715.1 [cm]}{15 * 100 [cm]}$$

$$\alpha = 0.477$$

$$\beta = 1 - \alpha$$

$$\beta = 0.523$$

Reemplazando los valores calculados en las ecuaciones del ángulo de torsión se tiene:

**Para:  $0 [cm] < x < 715.1 [cm]$**

$$\phi = 0.792 \left( -2.117 * 10^{-12} \sinh \frac{x}{31.085} + 3.488 * 10^{-4} x \right)$$

Derivas de  $\phi$ :

$$\phi' = \left( -5.391 * 10^{-11} \cosh \frac{x}{31.085} + 0.276 \right) 10^{-3}$$

$$\phi'' = \left( -1.734 * 10^{-10} \sinh \frac{x}{31.085} \right) 10^{-5}$$

$$\phi''' = \left( -5.579 * 10^{-10} \cosh \frac{x}{31.085} \right) 10^{-7}$$

**Para: 715.1 [cm] < x < 1500 [cm]**

$$\phi = 0.792 \left( 1.014 * 10^8 \sinh \frac{x}{31.085} - 1.014 * 10^8 \cosh \frac{x}{31.085} - 3.178 * 10^{-4} x + 0.477 \right)$$

Derivas de  $\phi$ :

$$\phi' = \left( 2.583 * 10^9 \cosh \frac{x}{31.085} - 2.583 * 10^9 \sinh \frac{x}{31.085} - 0.252 \right) 10^{-3}$$

$$\phi'' = \left( 8.308 * 10^9 \sinh \frac{x}{31.085} - 8.308 * 10^9 \cosh \frac{x}{31.085} \right) 10^{-5}$$

$$\phi''' = \left( 2.673 * 10^{10} \cosh \frac{x}{31.085} - 2.673 * 10^{10} \sinh \frac{x}{31.085} \right) 10^{-7}$$

La siguiente tabla muestra los valores calculados al sustituir los puntos críticos en las ecuaciones obtenidas.

**Tabla 13.** Resultados del ángulo de torsión y sus derivadas.

Punto	$\phi$	$\phi'$	$\phi''$	$\phi'''$
0 [cm]	0	$2.761 * 10^{-4}$	0	0
784.9 [cm]	0.180	$-2.516 * 10^{-4}$	0	0

**En x = 0 [cm]**

**Esfuerzo cortante torsional**

$$f_v' = G * t * \phi' \quad (53)$$

En el patín:

$$(fv_A')_f = G * t_f * \phi'$$

$$(fv_A')_f = 476.355 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(fv'_A)_w = G * 2 t_w * \phi'$$

$$(fv'_A)_w = 346.440 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

#### **Esfuerzo cortante por alabeamiento**

$$f_v'' = E * \frac{b^2 * d}{16} * \phi''' \quad (54)$$

Puesto que  $\phi''' = 0$ , los esfuerzos cortantes por alabeamiento en el patín y el alma son 0.

**En x = 784.9 [cm]**

#### **Esfuerzo cortante torsional**

En el patín:

$$(fv'_D)_f = G * t_f * \phi'$$

$$(fv'_D)_f = -433.994 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(fv'_D)_w = G * 2 t_w * \phi'$$

$$(fv'_D)_w = -315.632 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

#### **Esfuerzo cortante por alabeamiento**

En el patín:

$$(fv''_D)_f = 0 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(fv''_D)_w = 0 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

#### **Esfuerzo normal por alabeamiento**

$$f_b'' = E * \frac{b * d}{4} * \phi'' \quad (55)$$

Bresler [32] indica tres condiciones de borde idealizadas para el caso de vigas con extremos articulados:

$$\phi = 0$$

$$\phi' \neq 0$$

$$\phi'' = 0$$

De estas condiciones de borde idealizadas se puede inferir que:

$$fb_D'' = 0 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Por lo tanto, el esfuerzo normal total en el punto “D” será igual al esfuerzo normal por flexión.

### 3.5.4 Esfuerzos normales y cortantes combinados por flexión y torsión

**En x = 0 [cm]**

Todos los esfuerzos normales en el apoyo son cero. El esfuerzo cortante total por flexión y torsión es:

$$f_v = f_v' + f_v'' + f_v'''$$

En el patín:

$$(fv_A)_f = 478.120 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(fv_A)_w = 404.337 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Los esfuerzos cortantes en cada elemento no deberán exceder el esfuerzo cortante admisible.

$$[\sigma]_s = 911.178 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$(fv_A)_f < [\sigma]_s$$

$$(fv_A)_w < [\sigma]_s$$

**En x = 784.9 [cm]**

**Esfuerzo cortante total**

$$f_v = -f_v' + f_v'' + f_v'''$$

En el patín:

$$(fv_D)_f = 435.210 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

En el alma:

$$(fv_D)_w = 355.552 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Los esfuerzos normales y cortantes en el punto “D” se combinan utilizando la teoría de Von Mises:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3 \tau^2}$$

En el patín:

$$\sigma'_f = 892.685 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma'_f}$$

$$N = 2.835$$

En el alma:

$$\sigma'_w = 764.403 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$N = \frac{\sigma_y}{\sigma'_w}$$

$$N = 3.311$$

El factor de seguridad es aceptable; por lo tanto, la viga no fallará.

### 3.6 Rigidizadores transversales

#### 3.6.1 Distancia máxima a los extremos y lugares con perforaciones considerables

$$a \leq 350 \frac{0.8 [cm]}{\sqrt{\frac{478.120}{70.306} [ksi]}}$$

$$a \leq 107.371 [cm]$$

Por lo tanto, la distancia máxima es 78.6 [cm].



### 3.6.2 Rigidizadores transversales adicionales

La relación altura-espesor del alma excede el valor definido en la ecuación 34; en consecuencia, es necesario utilizar rigidizadores transversales adicionales.

$$98.25 > \frac{240}{\sqrt{\frac{478.120}{70.306} \text{ [ksi]}}} = 92.032$$

#### Distancia máxima entre rigidizadores

$$1 \frac{1}{2} h = 117.9 \text{ [cm]}$$

$$72 \text{ [in]} = 182.9 \text{ [cm]}$$

$$a \leq 78.6 \text{ [cm]} * \left( \frac{260}{98.25} \right)^2$$

$$a \leq 550.5 \text{ [cm]}$$

La distancia máxima entre rigidizadores es 182.9 [cm]. Se colocarán rigidizadores transversales cada 120 [cm].

#### Requerimiento de los rigidizadores transversales

$$I = \frac{1}{12} * 25 \text{ [cm]} * (78.6 \text{ [cm]})^3$$

$$I = 1011640.950 \text{ [cm}^4\text{]}$$

$$I > 1.2 \frac{h^3 t_w^3}{a^2} = 20.718 \text{ [cm}^4\text{]}$$

#### Propiedades geométricas de los rigidizadores

Los rigidizadores transversales tendrán un espesor de 6 [mm], entonces:

Volumen:

$$V_o = 1179 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Peso:

$$W_r = V_o * \delta_r$$

$$W_r = 129.56 \text{ [kg]}$$

### 3.7 Cargas

#### Carga muerta

Peso de la viga:

$$DL_b = 2.32 \left[ \frac{kg}{cm} \right]$$

Peso de accesorios y rigidizadores: El peso aproximado de los accesorios es 70 kg, entonces:

$$W_{a,r} = 0.133 \left[ \frac{kg}{cm} \right]$$

#### Carga del trolley

$$TL = 1800 [kg]$$

#### Carga nominal

$$LL = 17500 [kg]$$

#### Carga de viento

$$WLO = d * 5 \left[ \frac{Lb}{ft^2} \right]$$

Entonces:

$$WLO = 0.203 \left[ \frac{kg}{cm} \right]$$

#### Carga de desgaste

La carga de descaste se calcula multiplicando la carga ejercida en cada rueda por el coeficiente  $S_{sk}$ , el cual es determinado con la figura 15.

$$S_K = F_w * S_{SK}$$

$$S_K = 1290.030 [kg]$$

#### Carga de viento fuera de servicio

En este caso se asumirá la presión máxima del viento como  $30 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$ , entonces:

$$WLS = d * 30 \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

$$WLS = 0.249 \left[ \frac{kg}{cm} \right]$$

### Carga por colisión

$$E = \frac{9159.649 [kg] * 9159.649 [kg] * \left(0.4 * 0.09 \left[\frac{m}{s}\right] + 0.4 * 0.09 \left[\frac{m}{s}\right]\right)^2}{2 (9159.649 [kg] + 9159.649 [kg])}$$

$$E = 1.34 [kg m]$$

Norton plantea la siguiente ecuación para determinar la fuerza generada por colisión.

$$E = \frac{1}{2} * F * \delta_i \quad (56)$$

Entonces:

$$CF = \frac{2 * 1.34 [kg m]}{\frac{11.771}{1000} [m]}$$

$$CF = 227.62 [kg]$$

### Cargas verticales por inercia

Factor de carga muerta

Para la viga principal:

$$1.05 + \frac{5.68 * 3.281 \left[\frac{pie}{min}\right]}{2000} = 1.059 \rightarrow \therefore DLF_b = 1.1$$

Para el trolley:

$$1.05 + \frac{20 * 3.281 \left[\frac{pie}{min}\right]}{2000} = 1.083 \rightarrow \therefore DLF_t = 1.1$$

Factor de carga de izaje

$$0.005 * 3 * 3.281 \left[\frac{pie}{min}\right] = 0.049 \rightarrow \therefore HLF = 0.15$$

### Cargas horizontales por inercia

En el eje x:

$$a_x = \frac{20 * \frac{3.281}{60} \left[\frac{pie}{s}\right]}{2.5 [s]}$$

$$a_x = 0.437 \left[\frac{pie}{s^2}\right]$$

$$0.078 * 0.024 = 0.034 \rightarrow \therefore IFD_x = 0.034$$

En el eje z:

$$a_z = \frac{\left(5.68 * \frac{3.281}{60} \left[\frac{pie}{s}\right]\right)^2}{2.5 [s]}$$

$$a_z = 0.12 \left[\frac{pie}{s^2}\right]$$

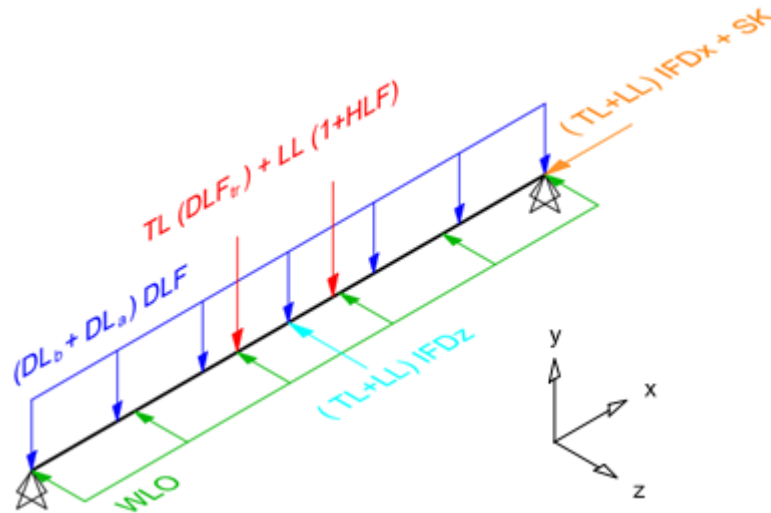
$$IFD_z = 0.010 \rightarrow \therefore IFD_z = 0.025$$

### 3.8 Combinaciones de carga

Una de las consideraciones más importantes en el diseño de estructuras es la determinación de las combinaciones de carga para el análisis de los factores de seguridad [33]. La siguiente tabla muestra las fuerzas ejercidas sobre cada eje de las combinaciones de carga indicadas en la sección 2.2.2.9.

**Tabla 14.** Fuerzas de las combinaciones de carga.

Combinación de carga	$P_x [kg]$	$P_y [kg]$	$q_y \left[\frac{kg}{cm}\right]$	$P_z [kg]$	$q_z \left[\frac{kg}{cm}\right]$
Caso 1	329.281	11052.5	2.699	241.25	0
Caso 2	1619.311	11052.5	2.699	241.25	0.203
Caso 3.1	0	900	2.453	0	0.249
Caso 3.2	0	9650	2.453	227.62	0



**Figura 23.** Esquema de la viga principal bajo las fuerzas de la combinación de carga 2.

En la tabla 18, se puede comprobar que el caso 2 de las combinaciones de carga es el más crítico. El diagrama de fuerzas de este caso se muestra en la figura 23.

### Plano x-y

Las fuerzas en el plano x-y se analizan de la misma forma que se analizó la carga de servicio. A continuación, se muestran tablas con los resultados obtenidos en cada combinación de carga.

#### En $x = 0$ [cm]

Los esfuerzos normales en el apoyo debidos a flexión y torsión son igual a 0 en el plano x-y.

Esfuerzo cortante:

**Tabla 15.** Esfuerzos cortantes en el apoyo A, plano x-y  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$fv'_3$	396.791	396.791	32.31	346.44
$fv'''_{3,y}$	66.575	66.575	19.705	58.748
$fv'_4$	545.587	545.587	44.427	476.355
$fv'''_{4,y}$	2.029	2.029	0.601	1.79

#### En $x = 784.9$ [cm]

Esfuerzo normal:

**Tabla 16.** Esfuerzos normales en el punto de momento máximo, plano x-y  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$fb'''_{4,y}$	519.977	519.977	114.365	457.126
$fb'''_{5,y}$	549.085	549.085	120.767	482.716

Esfuerzo cortante:

**Tabla 17.** Esfuerzos cortantes en el punto de momento máximo, plano x-y  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$fv'_4$	-361.505	-361.505	-29.437	-315.632
$fv'''_{4,y}$	33.624	33.624	3.227	29.379
$fv'_5$	-497.069	-497.069	-40.476	-433.994
$fv'''_{5,y}$	0	0	0	0

**Plano x-z****En x = 0 [cm]****Tabla 18.** Esfuerzos normales en el apoyo A, plano x-z  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$\sigma_x$	1.114	5.478	0	0

Los puntos críticos se encuentran a la misma distancia del eje neutro vertical; por lo tanto, el esfuerzo cortante es el mismo en cada punto.

**Tabla 19.** Esfuerzos cortantes en el apoyo A, plano x-z  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$fv'_z$	0.281	0.635	0.435	0.265

**En x = 784.9 [cm]**

Esfuerzo normal:

**Tabla 20.** Esfuerzos normales en el punto de momento máximo, plano x-y  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$\sigma_x$	1.114	5.478	0	0
$fb'''_z$	27.301	45.338	22.117	25.757

Esfuerzo cortante:

**Tabla 21.** Esfuerzos cortantes en el punto de momento máximo, plano x-y  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo cortante</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$fv'_z$	0.281	0.297	0.02	0.265

**Esfuerzos normales y cortantes totales****En x = 0 [cm]****Tabla 22.** Esfuerzo cortante total en el apoyo  $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$ .

<b>Esfuerzo</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$fb_3$	1.114	5.478	0	0
$fv_3$	463.646	464.001	52.45	405.453
$fb_4$	1.114	5.478	0	0
$fv_4$	547.897	548.251	45.462	478.411

En  $x = 784.9$  [cm]

**Tabla 23.** Esfuerzo normal total en el punto de momento máximo.

<b>Esfuerzo</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3.1</b>	<b>Caso 3.2</b>
$fb_4$	548.392	570.793	136.482	482.883
$fv_4$	395.41	395.426	32.684	345.275
$fb_5$	577.5	599.901	142.884	508.473
$fv_5$	497.35	497.366	40.496	434.259

### 3.9 Análisis de pandeo local

Para ilustrar el procedimiento a seguir, en este diseño ilustrativo se analizarán los esfuerzos producidos del alma.

Esfuerzos máximos:

$$fb_4 = 548.392 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$fb_2 = 548.392 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$fv_{m\acute{a}x} = 463.646 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

La relación de esfuerzos está indicada en la tabla adjunta en el anexo 4.

$$\alpha = \frac{120 [cm]}{78.6 [cm]}$$

$$\alpha = 1.527$$

$$fb_2 = \psi fb_4$$

$$\psi = -1$$

La disposición de esfuerzos producidos en el alma corresponde al caso 3 de la tabla mencionada.

$$\alpha > \frac{2}{3}$$

Entonces:

$$K_\sigma = 23.9$$

El coeficiente de pandeo de corte se determina con el caso 4.

$$\alpha > 1$$

Entonces:

$$K_{\tau} = 5.34 + \frac{4}{1.527^2}$$

$$K_{\tau} = 7.056$$

Esfuerzo de Euler:

$$\sigma_e = 26.21 * 10^6 \left( \frac{0.8 [cm]}{78.6 [cm]} \right)^2$$

$$\sigma_e = 2715.2$$

Esfuerzos críticos de pandeo de compresión y cortante:

$$\sigma_K = 23.9 * 2715.2 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_K = 64893.292 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\tau_K = 7.056 * 2715.2 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\tau_K = 19158.726 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Esfuerzo crítico:

$$\sigma_{1K} = \frac{\sqrt{548.392^2 + 3 * 463.646^2}}{\left[ \frac{1 + (-1)}{4} \right] \left[ \frac{548.392}{64893.292} \right] + \sqrt{\left[ \frac{3 - (-1)}{4} \frac{548.392}{64893.292} \right]^2 + \left[ \frac{463.646}{19158.726} \right]^2}}$$

$$\sigma_{1K} = 37936.527 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Límite proporcional:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_y}{1.32}$$

$$\sigma_p = 1917.463 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_{1K} > \sigma_p$$

Por lo tanto, el pandeo es inelástico. Para pandeo inelástico el esfuerzo crítico debe ser reducido utilizando la ecuación 23:



$$\sigma_{1KR} = \frac{2531.051 * (37936.527)^2}{0.1836 * 2531.051^2 + (37936.527)^2}$$

$$\sigma_{1KR} = 2528.984 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$$

Factor de seguridad para pandeo inelástico:

$$\vartheta_B = \frac{2528.984}{\sqrt{548.392^2 + 3 * 463.646^2}}$$

$$\vartheta_B = 2.601$$

Los factores de diseño para pandeo de cada combinación de carga se muestran en la tabla 6.

$$DFB = 1.7 + 0.175 (\psi - 1)$$

$$DFB = 1.35$$

$$\vartheta_B > DFB$$

Por lo tanto, el alma no fallará por pandeo local.

### 3.10 Diseño por fatiga

Para determinar la resistencia de la viga a cargas variables se utilizará la teoría de esfuerzo-vida infinita con el diagrama de Goodman modificado. En el punto 0 (a tracción), el esfuerzo mínimo se producirá cuando el puente grúa no esté cargado y puede asumirse como cero.

$$\sigma_{0,máx} = 695.967 \frac{kg}{cm^2} \quad \sigma_{0,mín} = 0 \frac{kg}{cm^2}$$

Del mismo modo, el esfuerzo máximo en el punto 5 (a compresión) puede asumirse como cero.

$$\sigma_{5,máx} = 0 \frac{kg}{cm^2} \quad \sigma_{5,mín} = -695.967 \frac{kg}{cm^2}$$

La viga es simétrica respecto a su eje neutro horizontal, en consecuencia:  $\sigma_{0,máx} = -\sigma_{5,mín}$ . Además,  $\sigma_{0,mín} = \sigma_{5,máx}$ . Estas relaciones derivan en que la única diferencia entre los puntos analizados sea el esfuerzo medio, de modo que:

$$\sigma_{0,m} = -\sigma_{5,m}$$

Cuando entre dos puntos críticos la única diferencia es que  $\sigma_{1m} = -\sigma_{2m}$ , el punto más crítico será el que tenga el esfuerzo medio positivo. Por lo tanto, solo se analizará el punto 0.

$$\sigma_{0m} = \frac{\sigma_{0,máx} + \sigma_{0,mín}}{2}$$

$$\sigma_{0m} = 347.984 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\sigma_{0a} = \frac{\sigma_{0,m\acute{a}x} - \sigma_{0,m\acute{i}n}}{2}$$

$$\sigma_{0a} = 347.984 \frac{kg}{cm^2}$$

## **Factores que reducen la resistencia a la fatiga**

### **Factor de superficie**

El factor de superficie para acabado laminado en caliente y esfuerzo último igual a 50 [ksi] es:

$$K_a = 0.74$$

### **Factor de tamaño**

Para determinar el factor de tamaño en vigas es necesario determinar un diámetro equivalente.

$$d_e = 0.808 \sqrt{hb} \quad \text{si: } t > 0.025h \quad (57)$$

Donde:

$h$  Peralte

$b$  Ancho del patín

$$d_e = 0.808 \sqrt{83 [cm] * 38.6 [cm]}$$

$$d_e = 447.766 [cm]$$

Entonces:

$$K_b = 0.6$$

### **Factor de confiabilidad**

Se trabajará con una confiabilidad de 99.9%, de modo que:

$$K_c = 0.753$$

### **Factor de temperatura**

La viga no estará sometida a temperaturas extremas, entonces:

$$K_d = 1$$

### **Factor de efectos varios**

Se asume que no existirán agentes corrosivos que reduzcan la resistencia a la fatiga, entonces:

$$K_e = 1$$

### Factor de carga

La viga está sometida a torsión, por lo tanto, el factor de carga es:

$$K_t = 0.577$$

### Factor de concentración de esfuerzos por fatiga

Este factor depende del índice de sensibilidad a la entalla  $q$ , que varía entre 0, cuando el material no tiene sensibilidad a la discontinuidad, hasta 1 cuando es totalmente sensible.

$$K_f = 1 + q (K_t - 1) \quad (58)$$

Donde:

$K_t$  Coeficiente teórico de concentración de esfuerzos

$q$  Índice de sensibilidad a la entalla

La viga no tiene discontinuidades, por lo tanto:

$$K_f = 1$$

### Factor de concentración de esfuerzos por fatiga para vida finita

Este factor es determinado con la siguiente función para materiales frágiles o de alta resistencia:

$$K_{ff} = K_f$$

Sin embargo, Norton [34] sugiere utilizar siempre la relación anterior; relación que es bastante conservadora en el caso de los aceros y materiales dúctiles. Entonces:

$$K_{ff} = 1$$

### Factor de concentración de fatiga al esfuerzo medio

$$K_{fm} = K_f \quad \text{si:} \quad K_f |S_{m\acute{a}x}| < S_y \quad (59)$$

Entonces:

$$K_{fm} = 1$$

### Factor de seguridad utilizando el criterio de Soderberg

$$S_e' = 0.5 S_u \quad \text{si:} \quad S_u < 1380 \text{ MPa (200 ksi)} \quad (60)$$

$$S_e' = 2038.902 \frac{kg}{cm^2}$$

$$S_n = S_e' * K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * K_l$$

$$S_n = 1136.117 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\frac{1}{N} = \frac{K_{fm} S_m}{S_y} + \frac{K_{ff} S_a}{S_n}$$

$$N = 2.553$$

$$S_{0m\acute{a}x} < \frac{S_y}{N}$$

El factor de seguridad es aceptable, entonces la viga no fallará por fatiga.

Las ecuaciones de fuerza cortante, momento flector y deflexión deducidas en este capítulo se utilizarán como modelo para la parte matemática de la programación. Los resultados obtenidos mediante estas ecuaciones serán comprobados en el siguiente capítulo mediante simulaciones en SAP2000 y SolidWorks.

## **CAPÍTULO 4**

### **VERIFICACIÓN DEL PROGRAMA UTILIZANDO SIMULACIONES EN SAP2000 Y SOLIDWORKS**

#### **4.1 Generalidades del programa**

##### **4.1.1 Desarrollo**

El programa fue escrito utilizando el entorno de desarrollo Netbeans con el lenguaje de programación Java. Este lenguaje de programación se fundamenta en la filosofía WORA (Write Once, Run Anywhere) que permite a los programadores exportar fácilmente las aplicaciones a diferentes sistemas operativos [35]. La versatilidad de Java ha hecho que sea uno de los lenguajes de programación más utilizados en la industria informática, principalmente en el desarrollo de aplicaciones “cliente”, aplicaciones “cliente-servidor”, y aplicaciones web [36]. El programa fue desarrollado con Java Swing, una librería del Java Foundation Classes, que está compuesta por un amplio conjunto de herramientas que permiten crear interfaces gráficas de usuario [37]. Las bases de datos fueron desarrolladas con Xampp, un servidor independiente que utiliza Windows como sistema operativo, Apache como servidor web, MySQL como gestor de bases de datos y PHP como lenguaje de programación [38].

##### **4.1.2 Requisitos del sistema operativo**

Los elementos necesarios para el funcionamiento correcto del programa son los siguientes:

- a) Java Development Kit (JDK) versión 8.0.1410.15 o posteriores.
- b) MySQL JDBC driver.
- c) XAMPP.

El manual de instalación se encuentra adjunto en el anexo 15.

Con el fin de verificar la exactitud del programa se realizarán tres simulaciones, en las que se variará la capacidad y la luz de la viga principal entre sus valores mínimos y máximos.

#### **4.2 Primera simulación**

En esta primera comprobación, se muestran capturas del programa y las simulaciones que indican los resultados obtenidos con SAP2000 y SolidWorks. En las dos comprobaciones

posteriores, únicamente se muestran tablas en las que se puede visualizar los resultados y los respectivos porcentajes de error obtenidos en cada caso.

#### 4.2.1 Datos

En las figuras 24 y 25 se indican los parámetros de diseño del puente grúa y las dimensiones de la viga principal tomadas en cuenta para la primera simulación.

1. Parámetros de diseño

Capacidad:	Q =	<input type="text" value="10000"/>	[kg]
Luz:	L =	<input type="text" value="15"/>	[m]
Recorrido:	R =	<input type="text" value="25"/>	[m]
Altura de izaje:	H =	<input type="text" value="9"/>	[m]
Tipo de puente grúa:	<input type="text" value="Monorriel"/> ▼		
Material de la viga principal :	<input type="text" value="ASTM-A36"/> ▼		

Almacenar

Figura 24. Parámetros de diseño del puente grúa.

2. Geometría de la viga principal

Peralte:	d =	<input type="text" value="88"/>	[cm]
Distancia entre almas:	b =	<input type="text" value="34"/>	[cm]
Ancho del patín:	c =	<input type="text" value="5"/>	[cm]
Espesor del patín inferior:	t <sub>ai</sub> =	<input type="text" value="2.5"/>	[cm]
Espesor del patín superior:	t <sub>as</sub> =	<input type="text" value="1.8"/>	[cm]
Espesor de las almas:	t <sub>w</sub> =	<input type="text" value="0.8"/>	[cm]

Almacenar

Figura 25. Dimensiones de la viga principal.

#### 4.2.2 Propiedades geométricas

Las propiedades geométricas de la viga principal obtenidas con el programa, SAP2000 y SolidWorks se muestran en las siguientes figuras.

**4. Propiedades Geométricas**

<b>Área de sección transversal:</b> A = 330.0 [cm <sup>2</sup> ]	<b>Altura del alma:</b> h = 83.7 [cm]	<b>Ancho total del patín:</b> bf = 45.6 [cm]
<b>Ejes Neutros:</b> x = 22.8 [cm] y = 40.094 [cm]	<b>Radios de giro:</b> rx = 36.268 [cm] ry = 15.028 [cm]	<b>Rigidez torsional:</b> Kt = 503.57 [cm <sup>4</sup> ]
<b>Momentos de Inercia:</b> Ix = 434061.44 [cm <sup>4</sup> ] Iy = 74529.504 [cm <sup>4</sup> ]	<b>Peso total y carga distribuida:</b> Wb = 3885.279 [kg] DLb = 2.59 [kg/cm]	<b>Medida de resistencia Torsional:</b> Kb = 220591.188 [cm <sup>6</sup> ]

**Figura 26.** Propiedades geométricas de la sección (Programa).

**Property Data**

Section Name:

**Properties**

Cross-section (axial) area	<input type="text" value="330,"/>	Section modulus about 3 axis	<input type="text" value="9060,6905"/>
Moment of Inertia about 3 axis	<input type="text" value="434061,4"/>	Section modulus about 2 axis	<input type="text" value="3268,8379"/>
Moment of Inertia about 2 axis	<input type="text" value="74529,5"/>	Plastic modulus about 3 axis	<input type="text" value="11065,395"/>
Product of Inertia about 2-3	<input type="text" value="0,"/>	Plastic modulus about 2 axis	<input type="text" value="4565,52"/>
Shear area in 2 direction	<input type="text" value="139,2691"/>	Radius of Gyration about 3 axis	<input type="text" value="36,2676"/>
Shear area in 3 direction	<input type="text" value="161,7342"/>	Radius of Gyration about 2 axis	<input type="text" value="15,0282"/>
Torsional constant	<input type="text" value="146970,08"/>	Shear Center Eccentricity (x3)	<input type="text" value="0,"/>

**Figura 27.** Propiedades geométricas de la sección (SAP2000) [kg, cm, C].

Las propiedades de sección de la cara seleccionada de viga en dos direcciones 2		
Área = 330.00 centímetros <sup>2</sup>		
Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas de salida: ( centímetros )		
X = 1500.00		
Y = 40.09		
Z = -22.80		
Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 508590.94 centímetros <sup>4</sup>		
Ángulo entre ejes principales y ejes de pieza = 0.00 °		
Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: ( centímetros <sup>4</sup> )		
Ix = 74529.50		
Iy = 434061.44		
Momentos de inercia del área, en el sistema de coordenadas de salida: ( centímetros <sup>4</sup> )		
LXX = 1210622.66	LXY = 19846530.00	LXZ = -11286000.00
LYX = 19846530.00	LYY = 742746076.70	LYZ = -301667.26
LZX = -11286000.00	LZY = -301667.26	LZZ = 743464545.96

**Figura 28.** Propiedades geométricas de la sección (SolidWorks).

#### 4.2.2.1 Comparación de resultados

A continuación, se determinan los porcentajes de error obtenidos al realizar la comparación de los resultados del programa con las simulaciones en SAP2000 y SolidWorks.

**Tabla 24.** Verificación de propiedades geométricas con SAP2000.

Nombre	Programa	SAP2000	Error
Área	330 [cm <sup>2</sup> ]	330 [cm <sup>2</sup> ]	0.00 %
Inercia en el eje x	434061.4 [cm <sup>4</sup> ]	434061.4 [cm <sup>4</sup> ]	0.00 %
Inercia en el eje y	74529.5 [cm <sup>4</sup> ]	74529.5 [cm <sup>4</sup> ]	0.00 %
Radio de giro en x	36.268 [cm]	36.268 [cm]	0.00 %
Radio de giro en y	15.028 [cm]	15.028 [cm]	0.00 %

**Tabla 25.** Verificación de propiedades geométricas con SolidWorks.

Nombre	Programa	SolidWorks	Error
Área	330 [cm <sup>2</sup> ]	330 [cm <sup>2</sup> ]	0.00 %
Inercia en el eje x	434061.4 [cm <sup>4</sup> ]	434061.4 [cm <sup>4</sup> ]	0.00 %
Inercia en el eje y	74529.5 [cm <sup>4</sup> ]	74529.5 [cm <sup>4</sup> ]	0.00 %
Eje neutro en x	22.8 [cm]	22.8 [cm]	0.00 %
Eje neutro en y	40.09 [cm]	40.09 [cm]	0.00 %



### 4.2.3 Elementos mecánicos

#### 4.2.3.1 Motorreductor

Teniendo en cuenta una potencia de entrada requerida de  $0.98 \text{ [kW]}$  y un momento de torsión mínimo de  $573.404 \text{ [N} \cdot \text{m]}$ , se seleccionaron el motor y el reductor mostrados a continuación.

**Motor**

**Factores de diseño**

Carga total: WT = 15593.279 [kg]

Número de ruedas motrices: DW = 1 [unid.]

Velocidad lineal de la viga: V = 10 [m/min]

Coefficiente de fricción: u = 0.05

Torque de salida requerido: Mr2 = 477.837 [N m]

**Factores de selección**

Potencia de entrada requerida: Pr1= 0.98 [kW] Calcular

Velocidad angular: 1200 [rpm] Filtrar Tabla

Modelo	Pot. [HP]	Pot. [kW]	Vel. [rpm]	e [%]	i(220V)[A]	i(440V)
3GQA073302-ASA	0.33	0.25	1080.00	59.80	1.80	0.90
3GQA083301-ASA	0.50	0.37	1108.00	63.30	2.40	1.20
3GQA083302-ASA	0.75	0.55	1105.00	64.90	3.40	1.70
3GQA093101-ASA	1.00	0.75	1111.00	70.80	3.80	1.90
3GQA093501-ASA	1.50	1.10	1105.00	73.30	5.40	2.70
3GQA103501-ASA	2.00	1.50	1135.00	76.30	6.80	3.40
3GQA113301-ASA	3.00	2.00	1148.00	79.30	9.80	4.90
3GQA163502-ADA	20.00	15.00	1160.00	85.50	57.20	28.60

Figura 29. Motor seleccionado.

**Reductor**

**Factores de selección**

Momento de torsión: Mc2= 573.404 [N m] Calcular

Relación de reducción: i = 89.143 Filtrar tabla

Modelo	Vel. [rpm]	Mn2 [N m]	i	Pn1 [kW]	e
NRV130	1140.00	1075.00	40.00	4.22	0.79
NRV130	1140.00	1015.00	50.00	3.32	0.76
NRV130	1140.00	920.00	60.00	2.61	0.73
NRV130	1140.00	850.00	80.00	1.95	0.69
NRV130	1140.00	760.00	100.00	1.51	0.65
NRV150	1140.00	1380.00	25.00	7.84	0.85

Figura 30. Reductor seleccionado.

#### 4.2.3.2 Polipasto

El grupo de funcionamiento del equipo de izaje es 2m. Considerando este parámetro, la capacidad y la altura de izaje, el polipasto seleccionado es SX50410100P55FD con trolley tipo “Normal Head Room”.

**Selección de Equipo**

Grupo de funcionamiento:  Filtrar tabla

Modelo	Q [kg]	Clase	Izaje [m]	Tmín [mm]	Low HR [kg]	Normal HR [kg]	Double Girder [kg]
SX50410100P55FD	10000.00	2m	9.00	100-610	610.00	790.00	670.00
SX50410100P55FE	10000.00	2m	12.00	100-610	660.00	0.00	700.00
SX50410100P65HD	10000.00	2m	9.00	100-610	610.00	790.00	670.00
SX50410100P65HE	10000.00	2m	12.00	100-610	660.00	0.00	700.00

**Polipastos para puentes grúa monorriel**

Tipo de trolley:

**Figura 31.** Polipasto seleccionado.

#### 4.2.3.3 Testeros

El diámetro de rueda, determinado con la figura del anexo 2, es 250 [mm]. La distancia entre ruedas mínima, calculada según los lineamientos de la normativa CMAA especificación #74, es 1875 [mm]. Considerando estos dos factores, el testero seleccionado es RTN25-25, cuyas características se muestran en la siguiente figura.

**Selección de equipo**

Parámetros de selección:

Diámetro de rueda: WD =  [mm]

Distancia entre ruedas: WB ≥  [mm]

Filtrar Tabla

Modelo	Rodadura [mm]	Diámetro de Rueda [mm]	Distancia entre ruedas [mm]	Peso [kg]	SingleGirder	DoubleGirder
RTN25-20	54-84	250.00	2000.00	375.00	S	S
RTN25-25	54-84	250.00	2500.00	459.00	S	S
RTN25-32	54-84	250.00	3150.00	585.00	S	S
RTN25-40	54-84	250.00	4000.00	677.00	S	S
RTN25B-20	54-84	250.00	2000.00	625.00	N	S
RTN25B-22	54-84	250.00	2200.00	660.00	N	S

**Figura 32.** Testero seleccionado.

#### 4.2.4 Cargas y factores de carga

Las figuras 33 y 34 muestran las cargas ejercidas en la viga principal y los factores de carga debidos a la inercia.

Factores de Carga Debido a la Inercia	
Plano Vertical	
Factor de carga muerta	
DLFb =	1.1
DLFt =	1.1
Factor de carga de izaje	
HLF =	0.15
Plano Horizontal	
IFDx =	0.034
IFDz =	0.025

**Figura 33.** Factores de carga.

Cargas			
Cargas Principales			
Carga muerta			
Peso propio de la viga:	DLb =	2.59	[kg/cm]
Peso total de accesorios:	Wa =	<input type="text" value="70"/>	[kg]
Carga de accesorios y rigidizadores:	DLad =	0.047	[kg/cm]
Carga del trolley			
	TL =	790.0	[kg]
Carga de izaje			
	LL =	10000.0	[kg]
Cargas Adicionales			
Cargas de viento			
Carga del viento en servicio:	WLO =	0.215	[kg/cm]
Presión máxima del viento:	Pw =	<input type="text" value="30"/>	[kg/m2]
Carga del viento fuera de servicio:	WLS =	0.264	[kg/cm]
Carga de desgaste			
	SK =	N.A.	
Carga por colisión			
	CF =	508.567	[kg]

**Figura 34.** Cargas.

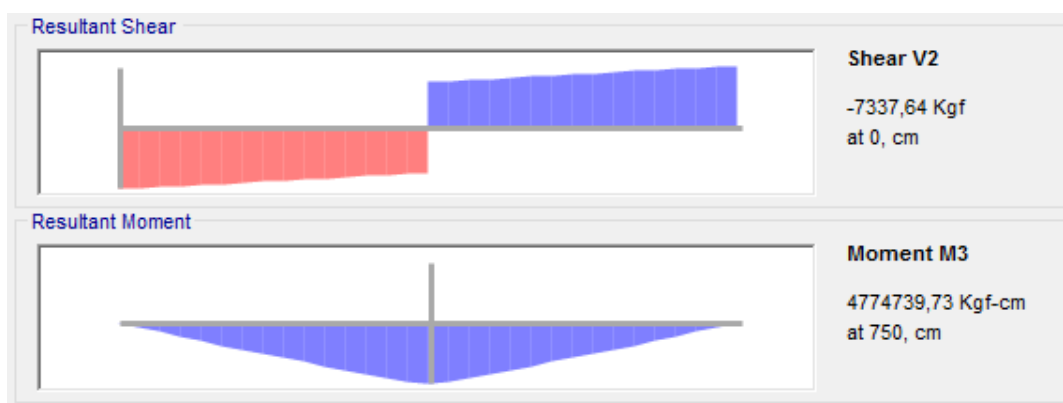
## 4.2.5 Carga de servicio

### 4.2.5.1 Fuerza cortante y momento flector

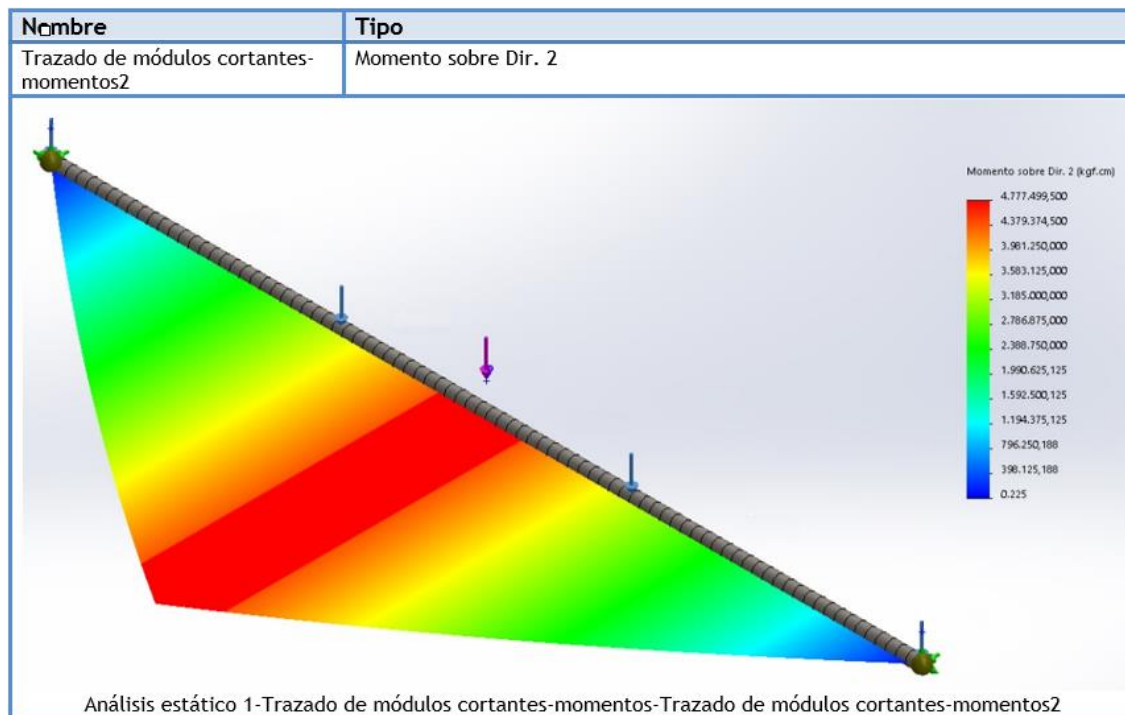
Las siguientes figuras indican los resultados de la fuerza cortante y el momento flector máximo de la carga de servicio.

<b>Valores críticos:</b>			
Fuerza:	P =	10790.0	[kg]
Cortante máximo:	V <sub>máx</sub> =	7337.639	[kg]
Momento máximo:	M <sub>máx</sub> =	4774739.768	[kg m]

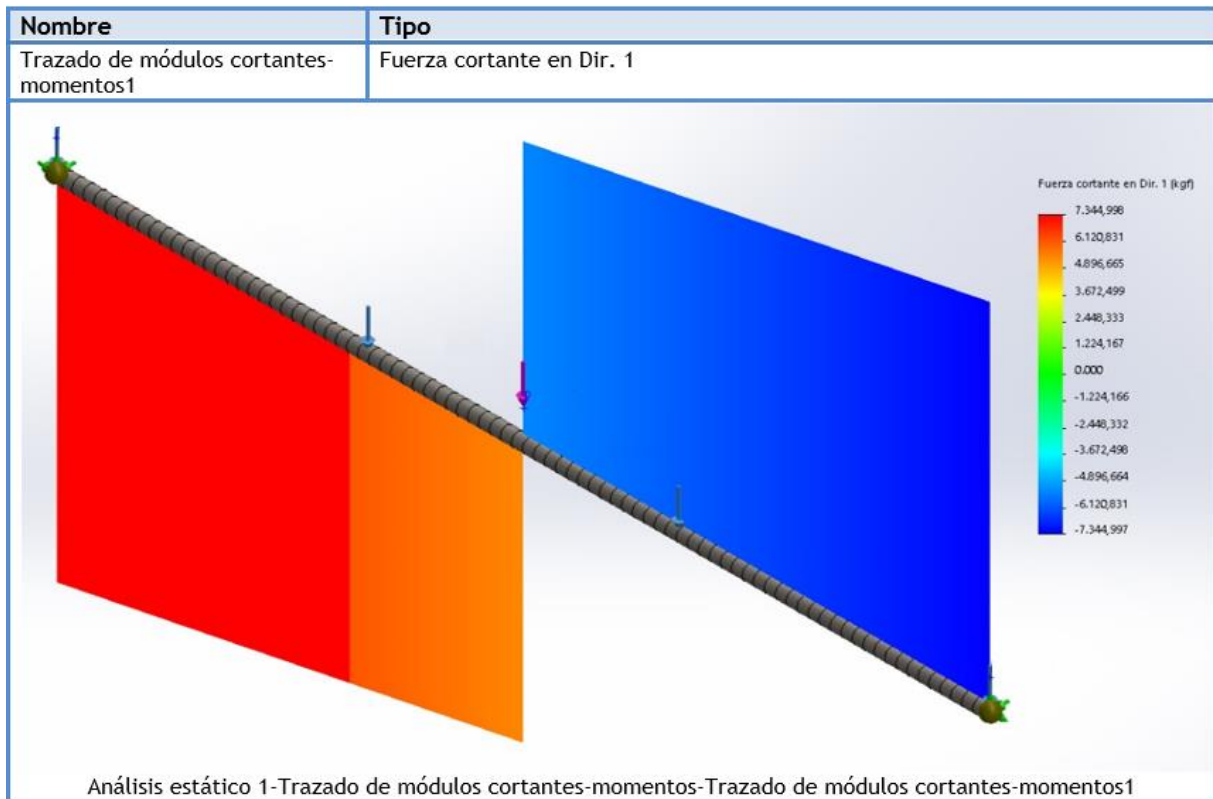
**Figura 35.** Fuerza cortante y momento flector máximos (Programa).



**Figura 36.** Diagramas de fuerza cortante y momento flector (SAP2000).



**Figura 37.** Diagrama de momento flector (SolidWorks).



**Figura 38.** Diagrama de fuerza cortante (SolidWorks).

### Comparación de resultados

A continuación, se determinan los porcentajes de error obtenidos al comparar la fuerza cortante y el momento flector máximo con los resultados de SAP2000 y SolidWorks.

**Tabla 26.** Verificación de fuerza cortante y momento flector máximos con SAP2000.

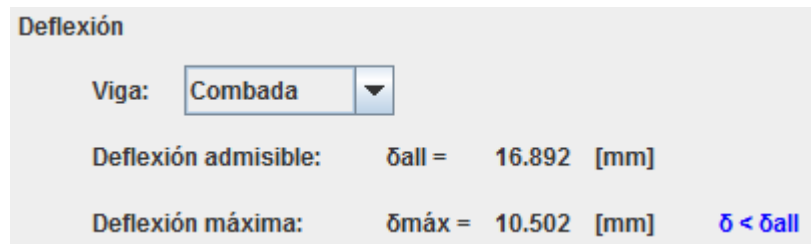
Nombre	Programa	SAP2000	Error
Fuerza cortante máxima	7337.639 [kg]	7337.64 [kg]	0.00 %
Momento flector máximo	4774739.768[kg cm]	4774739,73 [kg cm]	0.00 %

**Tabla 27.** Verificación de fuerza cortante y momento flector máximos con SolidWorks.

Nombre	Programa	SolidWorks	Error
Fuerza cortante máxima	7337.639 [kg]	7344.998 [kg]	0.10 %
Momento flector máximo	4774739.768[kg cm]	4777499,5 [kg cm]	0.06 %

#### 4.2.5.2 Deflexión

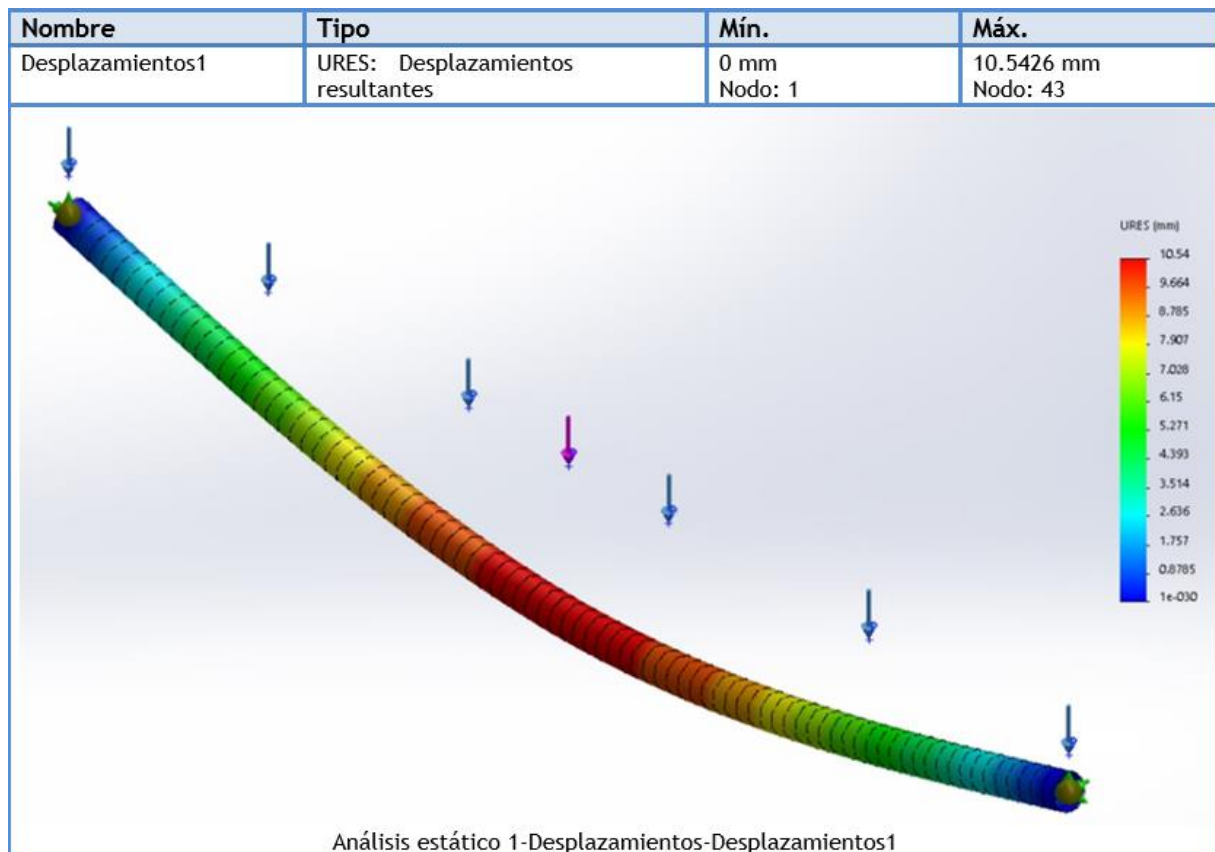
La deflexión vertical máxima producida por la carga muerta, el equipo de izaje y la carga nominal se indica en las siguientes figuras.



**Figura 39.** Deflexión máxima (Programa).



**Figura 40.** Deflexión (SAP2000).



**Figura 41.** Deflexión (SolidWorks).

### Comparación de resultados

A continuación, se determinan los porcentajes de error obtenidos al comparar la deflexión vertical máxima con los resultados de SAP2000 y SolidWorks.

**Tabla 28.** Verificación de la deflexión máxima con SAP2000.

Nombre	Programa	SAP2000	Error
Deflexión	10.502 [mm]	10.500 [mm]	0.02 %

**Tabla 29.** Verificación de la deflexión máxima con SolidWorks.

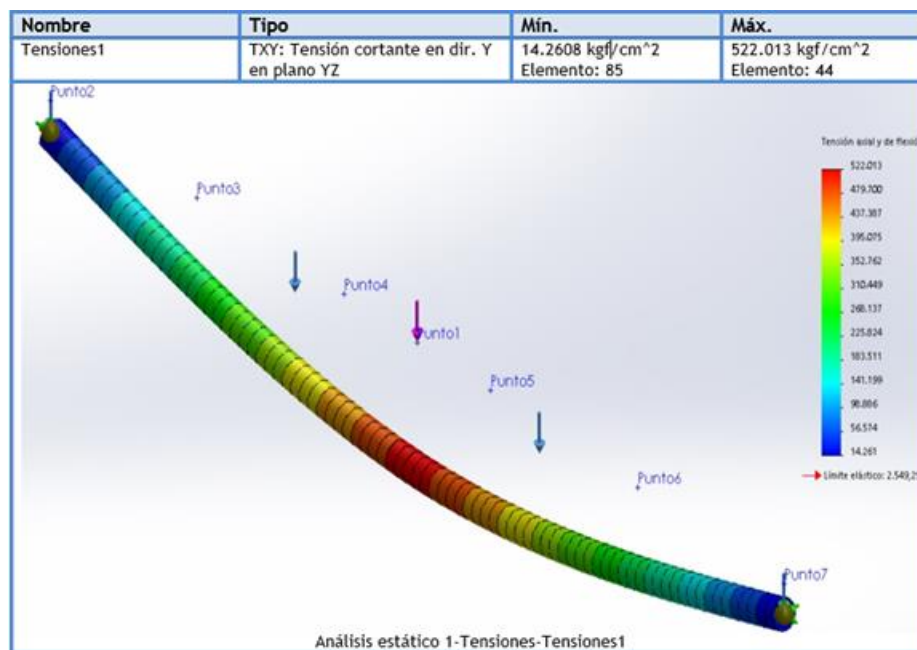
Nombre	Programa	SolidWorks	Error
Deflexión	10.502 [mm]	10.543 [mm]	0.39 %

### 4.2.5.3 Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad

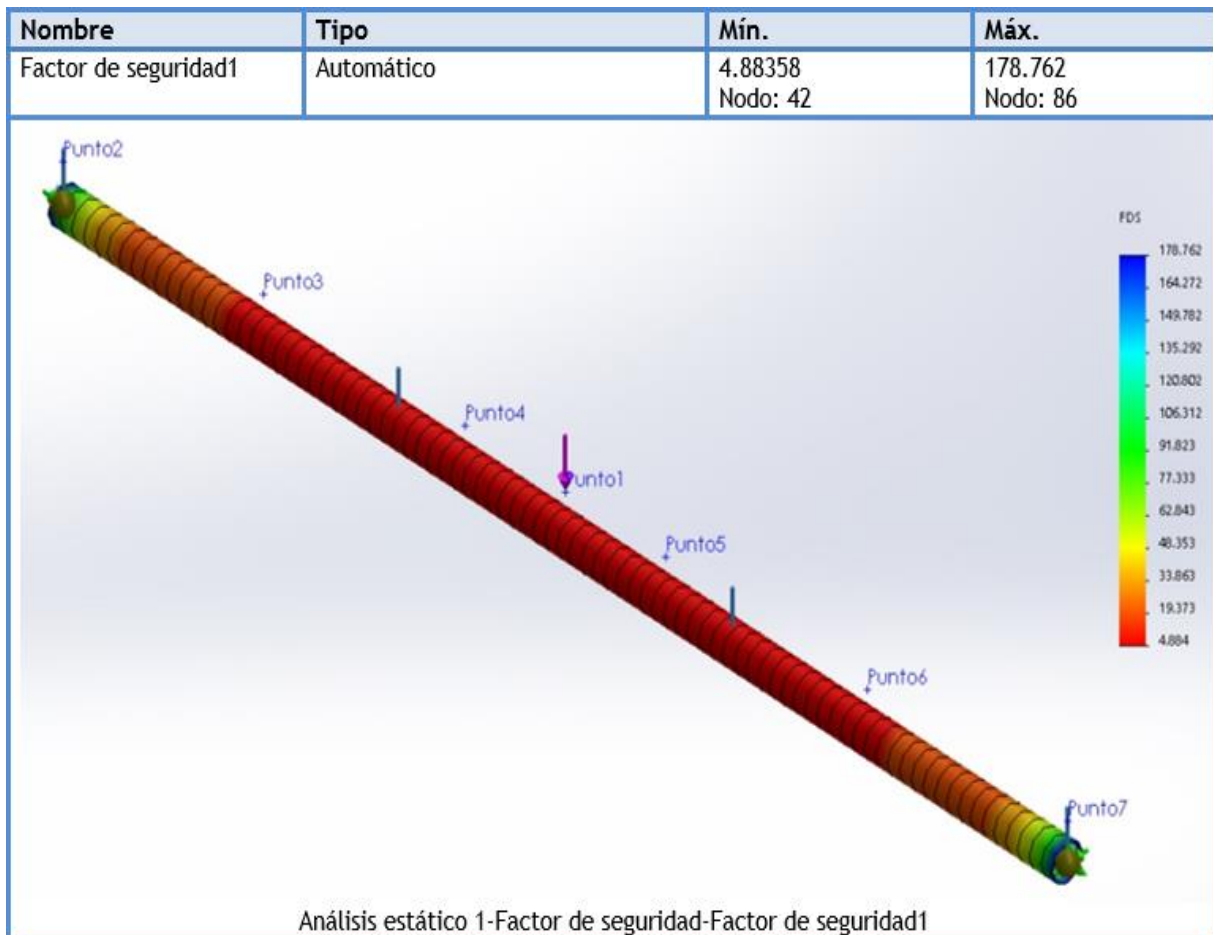
Las figuras 42, 43 y 44 muestran el esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad obtenidos en el análisis de la carga de servicio.

Esfuerzo de Von Mises				
		Punto A		Punto C
Nombre	Símbolo	Patín [kg/cm <sup>2</sup> ]	Alma [kg/cm <sup>2</sup> ]	
Esfuerzo de Von Mises	$\sigma'$	70.605	101.726	
Factor de seguridad	N	35.848	24.881	
				Punto C
Símbolo	Patín [kg/cm <sup>2</sup> ]			Alma [kg/cm <sup>2</sup> ]
$\sigma'$	526.973			509.823
N	4.803			4.965

**Figura 42.** Esfuerzos de Von Mises y factores de seguridad (Programa).



**Figura 43.** Esfuerzo de Von Mises (SolidWorks).



**Figura 44.** Factor de seguridad (SolidWorks).

### Comparación de resultados

A continuación, se determinan los porcentajes de error obtenidos al comparar el esfuerzo de Von Mises y el factor de seguridad con los resultados de SolidWorks.

**Tabla 30.** Verificación del esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks.

Nombre	Valor Calculado	Valor Real	Error
Von Mises máximo	526.973 $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$	522.013 $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$	0.94 %
Factor de seguridad mínimo	4.803	4.883	1.67 %

### 4.2.6 Combinaciones de carga

La verificación de resultados será realizada para el caso 2, debido a que es la combinación de carga más crítica en puentes grúa monorraíl.



En la figura 45 se observa las fuerzas ejercidas en cada eje de la combinación de carga antes mencionada.

Caso 2: DL (DLFb) + TL (DLFt) + LL (1+HLF) + IFD + WLO + SK					
	Eje x		Eje y		Eje z
Caso	P [kg]	q [kg/cm]	P [kg]	q [kg/cm]	P [kg]
Caso 2	368.181	2.901	12369.0	0.215	269.75

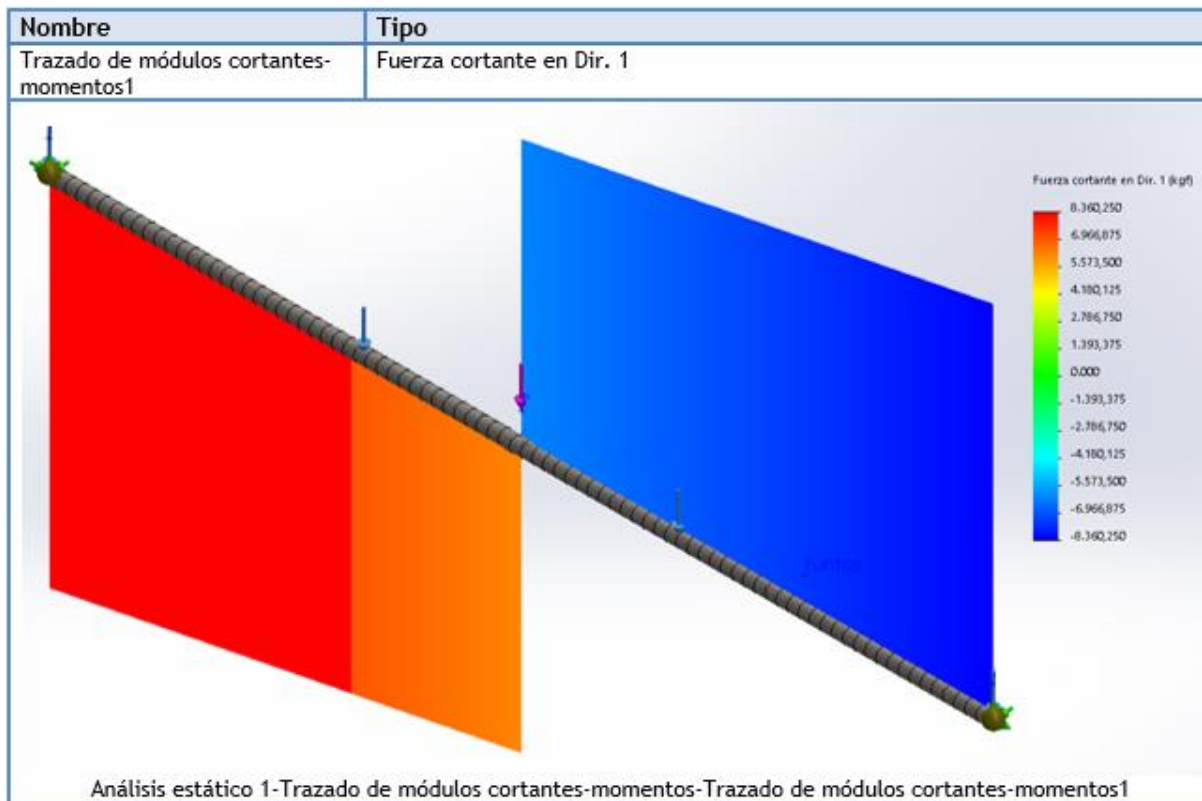
**Figura 45.** Fuerzas del caso 2 de las combinaciones de carga.

#### 4.2.6.1 Plano x-y

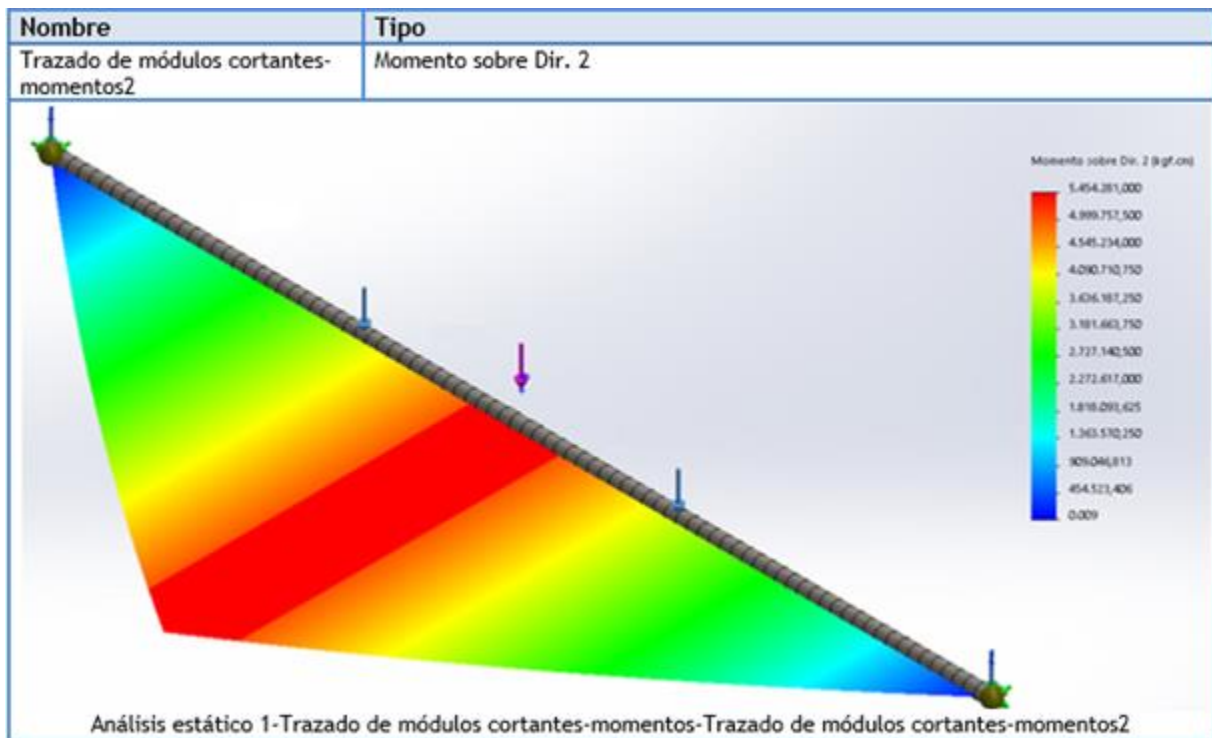
La fuerza cortante y el momento flector máximo mostrados en las siguientes figuras corresponden al análisis de fuerzas del caso 2 en el plano x-y.

Plano x-y		
Cortante máximo:	V <sub>máx</sub> =	8359.903 [kg]
Momento máximo:	M <sub>máx</sub> =	5454151.244 [kg m]

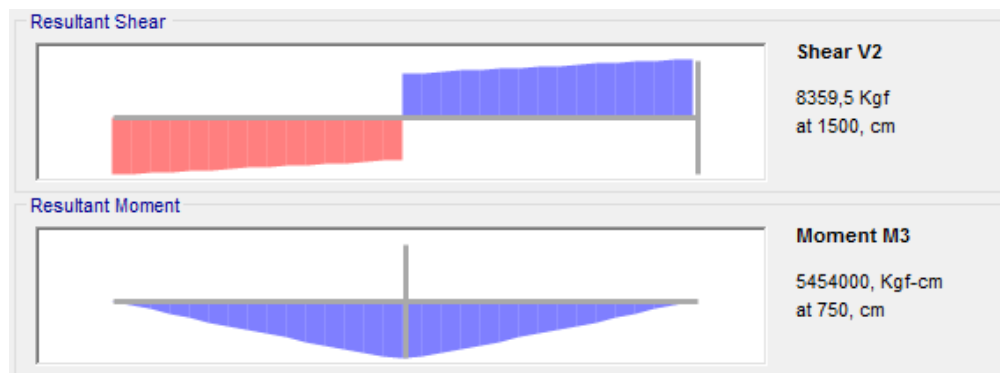
**Figura 46.** Fuerza cortante y momento flector máximos en el plano x-y (Programa).



**Figura 47.** Diagrama de fuerza cortante en el plano x-y (SolidWorks).



**Figura 48.** Diagrama de momento flector en el plano x-y (SolidWorks).



**Figura 49.** Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y (SAP2000).

### Comparación de resultados

A continuación, se determinan los porcentajes de error obtenidos al comparar la fuerza cortante y el momento flector máximo con los resultados de SAP2000 y SolidWorks.

**Tabla 31.** Verificación de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y con SAP2000.

Nombre	Programa	SAP2000	Error
Fuerza cortante máxima	8359.903 [kg]	8359.5 [kg]	0.00 %
Momento flector máximo	5454151.244[kg cm]	5454000,00 [kg cm]	0.00 %

**Tabla 32.** Verificación de fuerza cortante y momento flector máximos con SolidWorks.

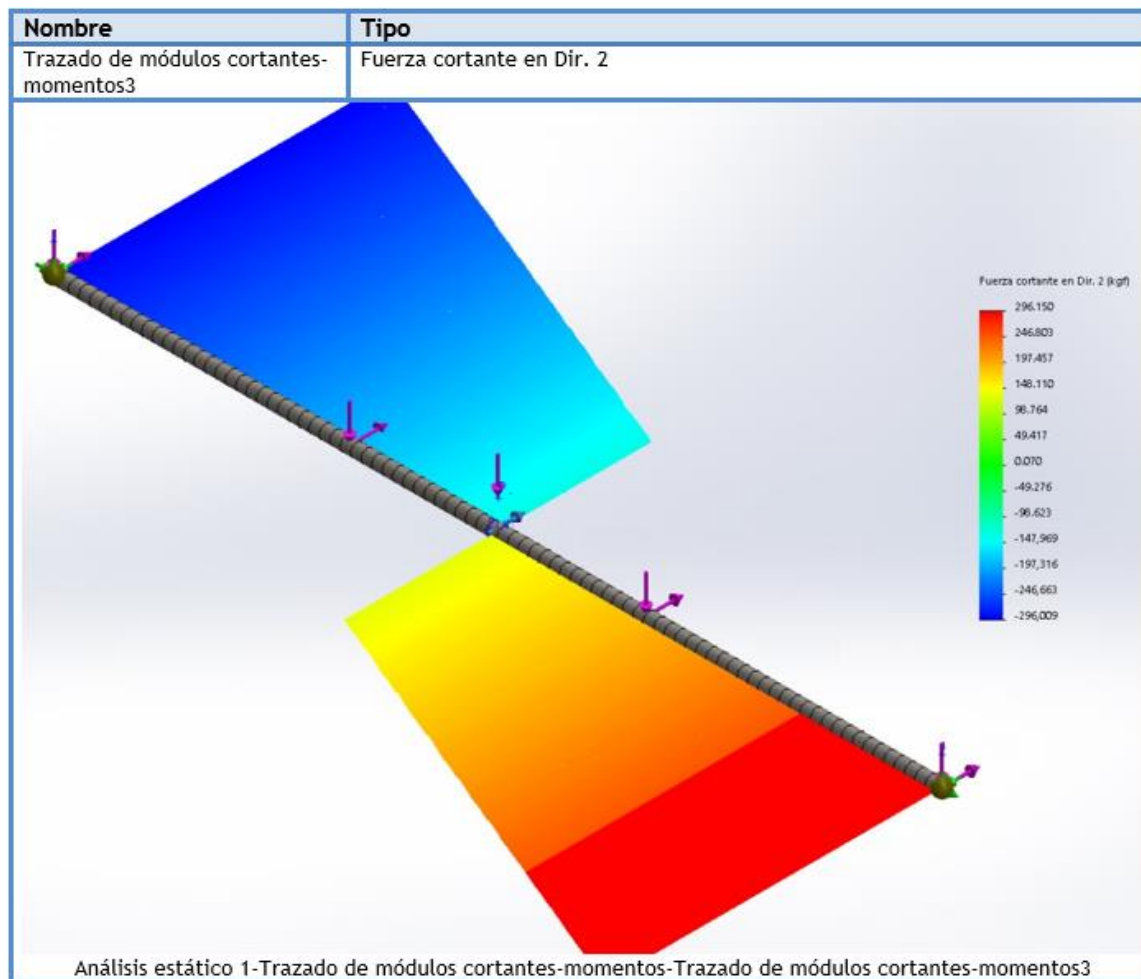
Nombre	Programa	SolidWorks	Error
Fuerza cortante máxima	8359.903 [kg]	8360.250 [kg]	0.00 %
Momento flector máximo	5454151.244[kg cm]	5454281,00 [kg cm]	0.00 %

#### 4.2.6.2 Plano x-z

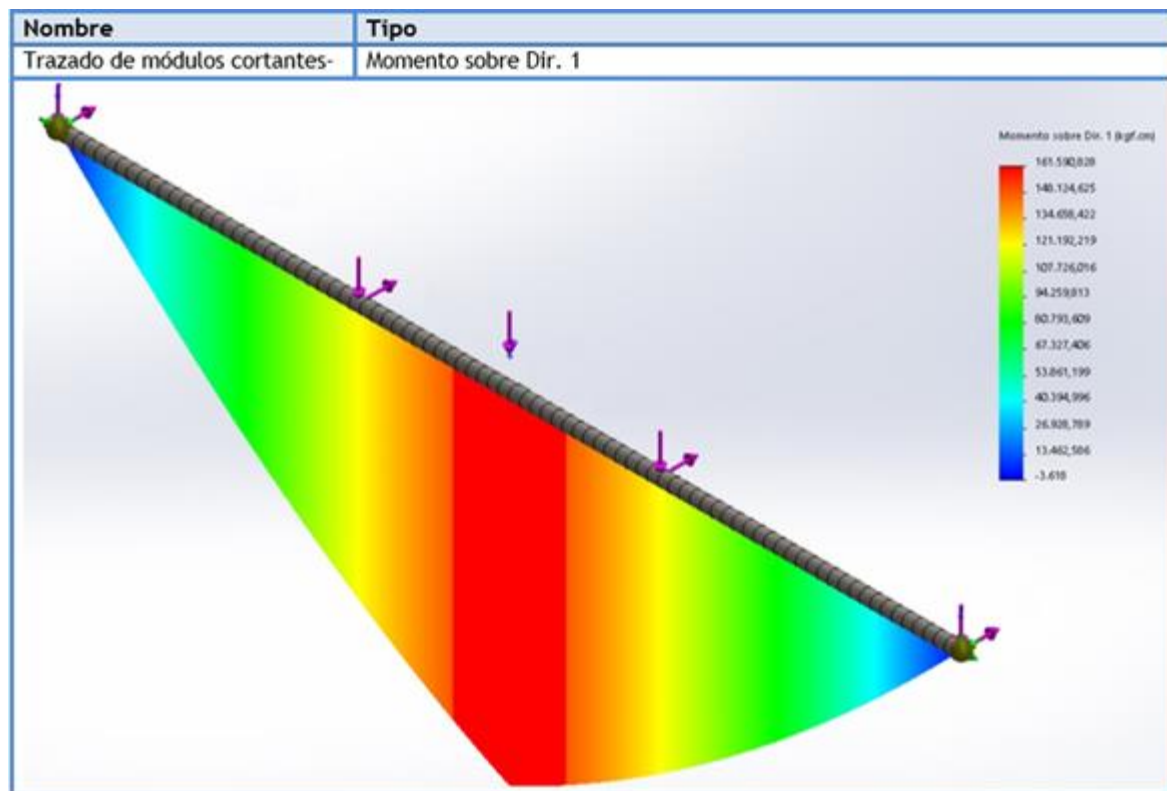
La fuerza cortante y el momento flector máximo mostrados en las siguientes figuras corresponden al análisis de fuerzas del caso 2 en el plano x-z.

<b>Plano x-z</b>			
Cortante máximo:	V <sub>máx</sub> =	296.349 [kg]	
Momento máximo:	M <sub>máx</sub> =	161709.156 [kg m]	

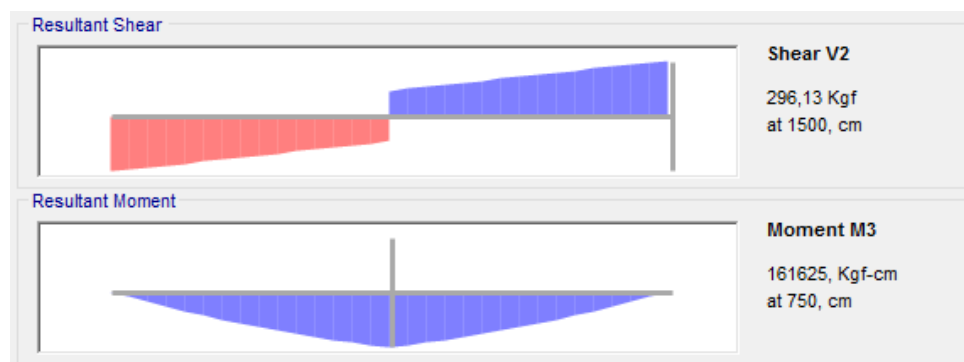
**Figura 50.** Fuerza cortante y momento flector máximos en el plano x-z (Programa).



**Figura 51.** Diagrama de fuerza cortante en el plano x-z (SolidWorks).



**Figura 52.** Diagrama de momento flector en el plano x-z (SolidWorks).



**Figura 53.** Diagramas de fuerza cortante y momento flector en el plano x-z (SAP2000).

### Comparación de resultados

A continuación, se determinan los porcentajes de error obtenidos al comparar la fuerza cortante y el momento flector máximo con los resultados de SAP2000 y SolidWorks.

**Tabla 33.** Verificación de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y con SAP2000.

Nombre	Programa	SAP2000	Error
Fuerza cortante máxima	296.349 [kg]	296.13 [kg]	0.07 %
Momento flector máximo	161709.156[kg cm]	161625,00 [kg cm]	0.05 %

**Tabla 34.** Verificación de fuerza cortante y momento flector en el plano x-y con SolidWorks.

Nombre	Programa	SolidWorks	Error
Fuerza cortante máxima	296.349 [kg]	296.15 [kg]	0.07 %
Momento flector máximo	161709.156[kg cm]	161590.828 [kg cm]	0.07 %

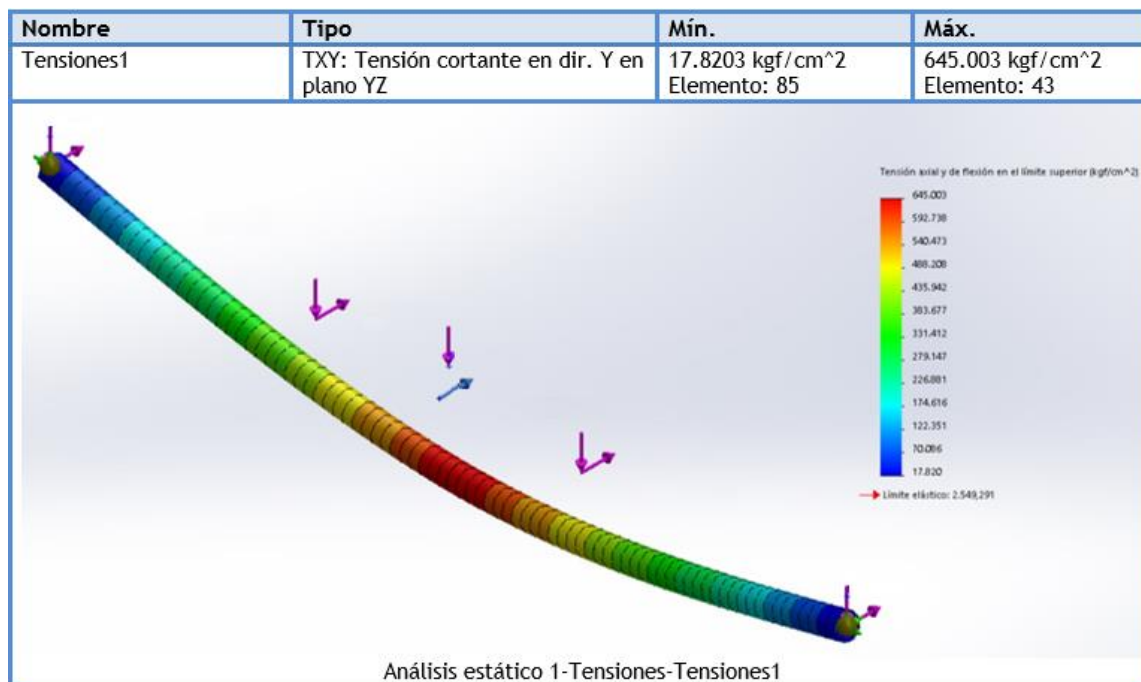
#### 4.2.6.3 Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad

Los esfuerzos de Von Mises determinados al combinar los esfuerzos normales y cortantes se muestra en las figuras 54 y 55. Adicionalmente, el factor de seguridad obtenido con el esfuerzo de Von Mises crítico es indicado en la figura 56.

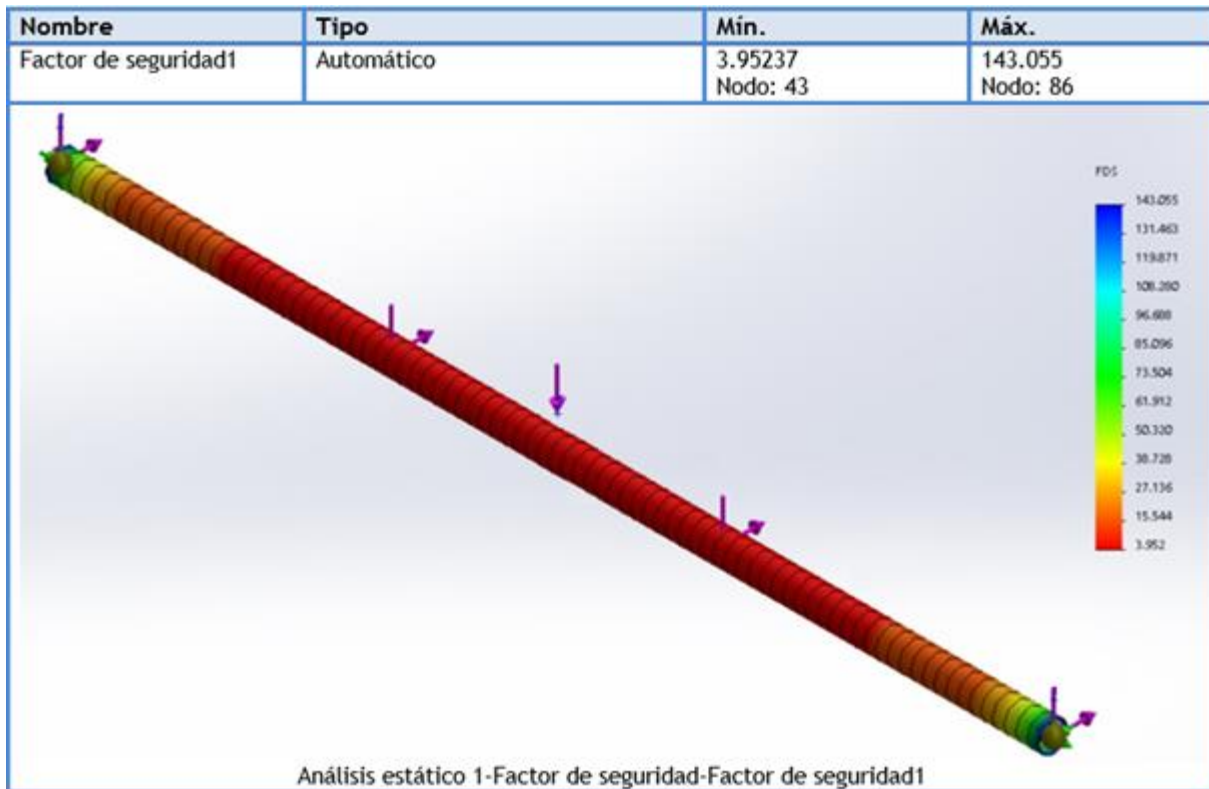
Esfuerzos								
					Punto A		Punto C	
Nombre	Símbolo	Pto. 3 [kg/cm2]	Pto. 4 [kg/cm2]		Símbolo	Pto. 0 [kg/cm2]	Pto. 2 [kg/cm2]	Pto. 5 [kg/cm2]
Esfuerzo normal por carga axial	$\sigma_x$	1.116	1.116		$\sigma_x$	1.116	1.116	1.116
Esfuerzo normal por flexión	$\sigma_y$	0.0	0.0		$\sigma_y$	617.442	586.029	601.958
Esfuerzo normal por flexión	$\sigma_z$	0.0	0.0		$\sigma_z$	700.834	700.834	38.621
Esfuerzo normal total	$\sigma$	1.116	1.116		$\sigma$	1319.392	1287.978	641.695
Esfuerzo cortante por flexión	$\tau_y$	66.914	46.443		$\tau_y$	0.0	1.384	0.0
Esfuerzo cortante por flexión	$\tau_z$	0.404	0.404		$\tau_z$	0.184	0.184	0.184
Esfuerzo cortante total	$\tau$	67.317	46.847		$\tau$	0.184	1.567	0.184
Esfuerzo de Von Mises	$\sigma'$	116.603	81.148		$\sigma'$	1319.392	1287.981	641.695
Factor de seguridad	N	21.707	31.191		N	1.918	1.965	3.944

$f_v < \sigma_{call}$   $f_b < \sigma_{tall}$

**Figura 54.** Esfuerzo de Von Mises y factores de seguridad (Programa).



**Figura 55.** Esfuerzo de Von Mises (SolidWorks).



**Figura 56.** Factor de seguridad (SolidWorks).

### Comparación de resultados

A continuación, se determinan los porcentajes de error obtenidos al comparar el esfuerzo de Von Mises máximo y el factor de seguridad mínimo con los resultados de SolidWorks.

**Tabla 35.** Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks.

Nombre	Valor Calculado	Valor Real	Error
Von Mises máximo	$641.695 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$	$645.003 \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$	0.51 %
Factor de seguridad mínimo	3.944	3.952	0.20 %

### 4.2.7 Resumen de resultados de programa

Una vez realizados todos los cálculos, el programa muestra una página de resumen en la que se indican los datos más relevantes: los parámetros de diseño del puente grúa, las dimensiones de la viga principal, los elementos mecánicos seleccionados, los esfuerzos admisibles, la deflexión vertical máxima con la carga de servicio, el análisis de esfuerzos con las combinaciones de carga y el análisis de esfuerzos por fatiga.



$$H = 18 [m]$$

#### 4.3.2 Dimensiones de la viga

Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño para vigas de doble alma señalados por a CMAA, se considerarán las siguientes dimensiones para la viga principal.

**Tabla 36.** Dimensiones de la viga principal.

Dimensión	Valor
$d$	120 [cm]
$b$	47 [cm]
$c$	6 [cm]
$ta_i$	3 [cm]
$ta_s$	3 [cm]
$t_w$	0.8 [cm]

#### 4.3.3 Elementos mecánicos

A continuación, se muestran los modelos de los elementos mecánicos seleccionados.

**Tabla 37.** Elementos mecánicos seleccionados.

Equipo	Modelo
Polipasto	SX50210050P55FD (N0)
Testero	RTN25-40
Motor	3GQA113301-ASA
Reductor	NRV150 (1300 [N · m])

#### 4.3.4 Cargas y factores de carga

La siguiente tabla indica las fuerzas ejercidas en la viga principal.

**Tabla 38.** Cargas ejercidas en la viga principal.

Dimensión	Valor
$DL_b$	4.286 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$DL_{ad}$	0.042 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$TL$	750 [kg]
$LL$	5000 [kg]
$WLO$	0.294 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$WLS$	0.36 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$CF$	599.55 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$



La tabla 39 indica los factores de carga que deben ser tomados en cuenta debido a la inercia, producida durante la operación normal del puente grúa.

**Tabla 39.** Factores de carga.

<b>Dimensión</b>	<b>Valor</b>
$DLF_b$	1.1
$DLF_t$	1.1
$HLF$	0.197
$IFD_x$	0.034
$IFD_z$	0.025

#### 4.3.5 Carga de servicio

En la tabla 40 se comparan los resultados del análisis de fuerzas de la carga de servicio y se determinan los porcentajes de error de cada parámetro.

**Tabla 40.** Verificación de parámetros de la carga de servicio con SAP2000 y SolidWorks.

<b>Nombre</b>	<b>Programa</b>	<b>SAP2000</b>	<b>Error</b>	<b>SolidWorks</b>	<b>Error</b>
$V_{m\acute{a}x} [kg]$	9303.37	9303.37	0.00 %	9304.00	0.01 %
$M [kg \cdot cm]$	9133777.734	9133777.47	0.00 %	9134250	0.01 %
$\delta_{m\acute{a}x} [mm]$	26.372	26.368	0.02 %	25.933	1.66 %
$\sigma'_{m\acute{a}x} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$	380.009	380.01	0.00 %	378.268	0.46 %
$N_{m\acute{i}n}$	6.661	6.661	0.00 %	6.739	1.17 %

#### 4.3.6 Combinaciones de carga (Caso 2)

##### 4.3.6.1 Plano x-y

Los resultados de la fuerza cortante, el momento flector y el esfuerzo de Von Mises máximos calculados al realizar el análisis de la combinación de carga 2 en el plano x-y se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 41.** Verificación de parámetros en el plano x-y con SAP2000 y SolidWorks.

<b>Nombre</b>	<b>Programa</b>	<b>SAP2000</b>	<b>Error</b>	<b>SolidWorks</b>	<b>Error</b>
$V_{m\acute{a}x} [kg]$	10544.607	10545.51	0.01 %	10544.649	0.00 %
$M [kg \cdot cm]$	10461943.01	10462880.2	0.01 %	10461974	0.00 %
$\sigma'_{m\acute{a}x} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$	435.267	435.31	0.01 %	433.184	0.48 %

#### 4.3.6.2 Plano x-z

En la tabla mostrada a continuación, se indican los resultados del análisis de fuerzas en el plano x-z de la combinación de carga 2. En esta tabla, se puede evidenciar que los esfuerzos producidos en este plano son considerablemente inferiores a los del plano x-y.

**Tabla 42.** Verificación de parámetros en el plano x-z con SAP2000 y SolidWorks.

Nombre	Programa	SAP2000	Error	SolidWorks	Error
$V_{m\acute{a}x} [kg]$	512.26	512.88	0.12 %	507	1.02 %
$M [kg \cdot cm]$	438101.076	438562.5	0.11 %	440299,62	0.5 %
$\sigma'_{m\acute{a}x} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$	61.606	61.67	0.10 %	61.899	0.48 %

### 4.4 Tercera Simulación

#### 4.4.1 Parámetros de diseño

Para realizar la tercera simulación se considerará una carga máxima y una luz reducida.

$$Q = 50000 [kg]$$

$$L = 5 [m]$$

$$R = 15 [m]$$

$$H = 5 [m]$$

#### 4.4.2 Dimensiones de la viga

Teniendo en cuenta los requerimientos de diseño para vigas de doble alma señalados por a CMAA, se consideran las siguientes dimensiones para la viga principal.

**Tabla 43.** Dimensiones de la viga principal.

Dimensión	Valor
$d$	80 [cm]
$b$	20 [cm]
$c$	10 [cm]
$ta_i$	3 [cm]
$ta_s$	3 [cm]
$t_w$	0.8 [cm]

#### 4.4.3 Elementos mecánicos

A continuación, se muestran los modelos de los elementos mecánicos seleccionados.

**Tabla 44.** Elementos mecánicos seleccionados.

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>
Polipasto	SX70620500P65EF
Testero	RTN50B-16
Motor	3GQA103501-ASA
Reductor	NRV-P063/150 (2670 [N · m])

#### 4.4.4 Cargas y factores de carga

Las siguientes tablas muestran las cargas ejercidas en la viga principal y los factores de carga debidos a la inercia.

**Tabla 45.** Cargas ejercidas en la viga principal.

<b>Dimensión</b>	<b>Valor</b>
$DL_b$	2.888 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$DL_{ad}$	0.12 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$TL$	2530 [kg]
$LL$	50000 [kg]
$WLO$	0.196 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$WLS$	0.24 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$CF$	1375.497 $\left[\frac{kg}{cm}\right]$
$SK$	715.181 [kg]

**Tabla 46.** Factores de carga.

<b>Dimensión</b>	<b>Valor</b>
$DLF_{b,t}$	1.1
$HLF$	0.15
$IFD_x$	0.034
$IFD_z$	0.025

#### 4.4.5 Carga de servicio

La tabla mostrada a continuación indica el análisis de fuerzas de la carga de servicio y la comparación de resultados con las simulaciones en SAP2000 y SolidWorks.

**Tabla 47.** Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks.

Nombre	Programa	SAP2000	Error	SolidWorks	Error
$V_{m\acute{a}x} [kg]$	15569.717	15569.72	0.00 %	15573.72	0.02 %
$M [kg \cdot cm]$	2570295.388	2570294.64	0.00 %	2574901	0.18 %
$\delta_{m\acute{a}x} [mm]$	0.725	0.725	0.00 %	0.735	1.38 %

#### 4.4.6 Combinaciones de carga (Caso 2)

##### 4.4.6.1 Plano x-y

Los resultados de la fuerza cortante, el momento flector y el esfuerzo de Von Mises máximos calculados al realizar el análisis de la combinación de cargas 2 en el plano x-y se muestran en la tabla 48.

**Tabla 48.** Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks.

Nombre	Programa	SAP2000	Error	SolidWorks	Error
$V_{m\acute{a}x} [kg]$	17866.231	17866.22	0.00 %	17850.102	0.09 %
$M [kg \cdot cm]$	2949471.973	2949470.73	0.00 %	2948951	0.02 %
$\sigma'_{m\acute{a}x} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$	1212.104	1215.938	0.32 %	1217.61	0.45 %

##### 4.4.6.2 Plano x-z

La tabla mostrada a continuación indica los resultados del análisis de fuerzas en el plano x-z de la combinación de cargas 2. Además, son mostrados los porcentajes de error obtenidos al comparar los resultados con las simulaciones en SAP2000 y SolidWorks.

**Tabla 49.** Verificación de esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad con SolidWorks.

Nombre	Programa	SAP2000	Error	SolidWorks	Error
$V_{m\acute{a}x} [kg]$	377.244	377.821	0.15 %	378.524	0.34 %
$M [kg \cdot cm]$	77370.853	77479.681	0.14 %	76825,796	0.7 %
$\sigma'_{m\acute{a}x} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$	964.343	967.352	0.31 %	958.862	0.57 %

#### 4.5 Resumen de resultados

La siguiente tabla muestra un resumen de los porcentajes de error máximos obtenidos en cada simulación.

**Tabla 50.** Resumen de resultados de las simulaciones.

<b>Simulación</b>	<b>Error Máximo SAP2000</b>	<b>Error Máximo SolidWorks</b>
Simulación 1	0.07 %	1.67 %
Simulación 2	0.12 %	1.66 %
Simulación 3	0.32 %	1.38 %

Como se puede ver en la tabla anterior, el porcentaje de error máximo obtenido con SAP2000 fue de 0.32%, correspondiente al esfuerzo de Von Mises en el plano x-y del caso 2 de las combinaciones de carga. Por el contrario, el porcentaje de error máximo obtenido con SolidWorks fue 1.67%, correspondiente al factor de seguridad determinado en el análisis de fuerzas de la carga de servicio.

## CONCLUSIONES

- Debido a que en puentes grúa monorriel la disposición del trolley produce pandeo local en el patín inferior de la viga principal, la capacidad nominal máxima para puentes grúa de este tipo es 20 toneladas. Para capacidades superiores, los puentes grúa deberán ser de tipo birriel.
- El diámetro de rueda de los testers influye directamente en la velocidad de traslación de la viga principal. Para capacidades grandes las velocidades deben ser moderadas por motivos de seguridad; en consecuencia, a partir de 32 toneladas el diámetro de rueda de los testers se mantiene constante en 500 milímetros.
- Mediante el diseño realizado se comprobó que para garantizar que la viga sea capaz de desarrollar la totalidad de su momento plástico antes de que ocurra la falla por pandeo, la relación luz - peralte debe ser mayor a 25 y la relación luz – distancia entre almas debe ser mayor a 65.
- La comparación de resultados con simulaciones en SAP2000 y SolidWorks mostró mejores resultados con SAP2000 en términos de exactitud. El porcentaje de error máximo obtenido en las tres simulaciones fue 0.32% con SAP2000, en cambio con SolidWorks este valor fue 1.67%. La considerable diferencia de exactitud se debe a que en SolidWorks, el análisis estructural de la viga es realizado mediante elementos finitos, mientras que SAP2000 analiza la viga como un elemento sólido. A pesar de esto, los porcentajes de error obtenidos en los dos casos son bajos, por lo que se garantiza la exactitud y confiabilidad del programa.

## RECOMENDACIONES

- Las vigas tipo cajón son utilizadas principalmente para el diseño de puentes grúa con grandes cargas y luces amplias. En el caso de puentes grúa monorriel con pequeñas cargas o luces reducidas podría implementarse en el programa el uso de perfiles IPN, que son más recomendables para el diseño de puentes grúa monorriel.
- La inclusión de rigidizadores en la viga principal aumenta su resistencia, reduciendo significativamente su peso. Por lo tanto, su uso es recomendado.
- El programa desarrollado en este proyecto no considera el análisis de esfuerzos en la soldadura. Para efectos de construcción se debe tener en cuenta este análisis.
- En puentes grúa birriel es recomendable el uso de dos ruedas motrices, con el fin de minimizar la carga a la cual está sometida el eje acoplado al bloque de ruedas del testero.
- El programa incluye la posibilidad de modificar las bases de datos. Sin embargo, estas pueden ser modificadas con mayor rapidez utilizando XAMPP o un gestor de base de datos como MySQL.
- Teniendo en cuenta todas las ventajas que tiene un programa de este tipo, en proyectos futuros se podría implementar el diseño de los demás elementos estructurales de un puente grúa.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. K. Sakurikar and D. V. Kushare, "Review of Overhead Crane and Analysis of Components Depending on Span," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 3, pp. 1004–1008, 2016.
- [2] Y. B. Chunkawan and R. S. Subramaniyam, "Static Structural Analysis Of Crane Hook," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 7, pp. 2265–2274, 2017.
- [3] A. Bhatia, *Overview of Electric Overhead Traveling (Eot) Cranes*. Createspace Independent, 2014.
- [4] I. Engineering and S. Issue, "Design of optimum cross section for EOT Crane Girder," *Int. Eng. Res. J.*, no. 2, pp. 4233–4237, 2015.
- [5] I. R&M Materials Handling, "Manual del usuario-Polipasto." Springfield, pp. 1–20, 2012.
- [6] R. MacCrimmon, *Crane- Supporting Steel Structures*, Second. Ontario, 2009.
- [7] S. A. Hancar Industrial, "Equivalencias Entre Normas Internacionales para Equipos de Elevación," no. 33. Guadalajara, pp. 31–33, 2009.
- [8] I. Instituto Navarro de Salud Laboral, *Guía para la adecuación y evaluación de riesgos en puentes grúa*. 2003.
- [9] Demag, "Demag Standard Cranes." Berlín, p. 20, 2014.
- [10] C. Alkin, C. E. Imrak, and H. Kocabas, "Solid Modeling and Finite Element Analysis of an Overhead Crane Bridge," vol. 45, no. 3, pp. 61–67, 2005.
- [11] I. VERLINDE Lifting Equipment, "Componentes para puentes grúa estándares," no. 33, 2002.
- [12] I. R&M Materials Handling, "Testerías de Desplazamiento Sobre Riel Serie RS Y RT." Springfield, p. 17, 2007.
- [13] M. L. Gambhir, *Fundamentals of structural steel design*. Tata McGraw-Hill Education, 2013.
- [14] A. Miravete and E. Larrodé, *Transportes en la ingeniería industrial*. Reverte, 1998.
- [15] S. A. Industrias Electromecánicas GH, "Componentes para Grúas." Madrid, p. 8, 2013.
- [16] S. A. Motovario, "Motorreductores de Tornillo Sinfin." Formigine, p. 328, 2017.
- [17] I. Crane Manufacturers Association of America, "CMAA Specification #70." Charlotte,



- p. 91, 2010.
- [18] M. Abid, M. H. Akmal, and H. A. Wajid, “Desing Optimization of Box Type Girder of an Overhead Crane,” vol. 39, pp. 101–112, 2015.
  - [19] I. Crane Manufacturers Association of America, “CMAA Specification #74.” Charlotte, p. 75, 2010.
  - [20] J. C. McCormac and J. de la Cera Alonso, *Diseño de estructuras metalicas : Método ASD*. Alfaomega, 1999.
  - [21] I. R&M Materials Handling, “SX Price List Export.” Springfield, 2015.
  - [22] I. R&M Materials Handling, “Electric Wire Rope Hoists & Options Technical Guide.” Springfield, pp. 1–91, 2007.
  - [23] I. R&M Materials Handling, “DOUBLE GIRDER , MEDIUM , 6 PART SINGLE Hoist type : SX6061...D0,” 2013. [Online]. Available: <http://rmhoist.com/files/public/documents/SX6 061 D0 SI 60 NR.pdf>.
  - [24] J. L. Meriam, L. G. Kraige, and J. N. Bolton, *Engineering Mechanics*, 8th ed. Wiley, 2014.
  - [25] T. Krishna Rao, *Design of machine elements. Vol. II*. I.K. International, 2010.
  - [26] I. ABB Group, “Low Voltage General Purpose Motors.” Berna, p. 11, 2015.
  - [27] A. Pytel, J. Kiusalaas, and I. Sharma, *Mechanics of materials*. Cengage Learning, 2012.
  - [28] F. Beer, D. Mazurek, J. DeWolf, and R. Johnston, *Statics and mechanics of materials*, 2nd ed. McGraw-Hill Education, 2016.
  - [29] I. A. Karnovsky and O. Lebed, *Advanced Methods of Structural Analysis*. Springer Science & Business Media, 2010.
  - [30] J. M. Gere and B. J. Goodno, *Mechanics of materials*. Cengage Learning, 2013.
  - [31] H. Russell C, *Mechanics of Materials*, 10th ed. Pearson Education, 2016.
  - [32] B. Bresler, T. Y. Lin, J. B. Scalzi, O. de. Buen, E. Martínez Romero, and J. L. Flores Feregrino, *Diseño de estructuras de acero*. Limusa-Wiley, 1970.
  - [33] B. Rozmarynowski, “Crane Load Modelling,” vol. 17, no. November, pp. 205–224, 1996.
  - [34] R. L. Norton, *Diseño de Máquinas*. Prentice Hall, 2011.
  - [35] M. T. . G. SOMASHEKARA, *Object Oriented Programming with Java*. PHI LEARNING, 2017.

- [36] V. Sarcar, *Interactive object oriented programming in Java : learn and test your skills.* .
- [37] S. Robert and W. Kevin, *Introduction to Programming in Java: An Interdisciplinary Approach*, 2nd ed. 2017.
- [38] K. Kousen, *Modern Java recipes simple solutions to difficult problems in Java 8 and 9.* O'Reilly, 2017.

## ANEXOS

### Anexo 1: Clasificación de las grúas según el espectro de carga.

ISO Clasif.	Estándares Europeos		Estándares de EU	
	FEM		ASME HST-4M	CMAA No. 70-Doble Viga
M1	Relación cable de acero / tambor 12.5:1 Relación cable de acero / polea 11.2:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 3.15:1 Arranques del motor por hora (min) 90 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 7.5 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 400	1 Dm		
M2	Relación cable de acero / tambor 12.5:1 Relación cable de acero / polea 14:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 3.35:1 Arranques del motor por hora (min) 120 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 7.5 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 800	1 Cm		
M3	Relación cable de acero / tambor 14:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 3.55:1 Arranques del motor por hora (min) 150 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 15 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 1600	1 Bm	Relación cable de acero / tambor 18:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Arranques del motor por hora (min) 75 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 15 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 1250	Clase A Relación cable de acero / tambor 16:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 1250
M4	Relación cable de acero / tambor 16:1 Relación cable de acero / polea 18:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 4:1 Arranques del motor por hora (min) 180 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 15 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 3200	1 Am	Relación cable de acero / tambor 18:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Arranques del motor por hora (min) 75 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 15 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 2500	Clase B Relación cable de acero / tambor 16:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 2500
M5	Relación cable de acero / tambor 18:1 Relación cable de acero / polea 20:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 4.5:1 Arranques del motor por hora (min) 240 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 30 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 6300	2m	Relación cable de acero / tambor 18:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Arranques del motor por hora (min) 150 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 30 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 5000	Clase C Relación cable de acero / tambor 18:1 Relación cable de acero / polea 18:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 5000
M6	Relación cable de acero / tambor 20:1 Relación cable de acero / polea 22.4:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5.6:1 Arranques del motor por hora (min) 300 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 30 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 12500	3m	Relación cable de acero / tambor 18:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Arranques del motor por hora (min) 300 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 30 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 10000	Clase D Relación cable de acero / tambor 20:1 Relación cable de acero / polea 20:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 10000
M7	Relación cable de acero / tambor 22.4:1 Relación cable de acero / polea 25:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 7.1:1 Arranques del motor por hora (min) 360 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 60 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 25000	4m	Relación cable de acero / tambor 18:1 Relación cable de acero / polea 16:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Arranques del motor por hora (min) 600 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) 60 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 20000	Clase E Relación cable de acero / tambor 24:1 Relación cable de acero / polea 24:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 5:1 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 20000
M8	Relación cable de acero / tambor 25:12 Relación cable de acero / polea 28:1 Relación de resistencia a la ruptura del cable de acero 9:1 Arranques del motor por hora (min) 360 Tiempo máximo conexión (por Hora/minuto) >60 Vida nominal L <sub>10</sub> rodamientos (Horas) 50000	5m		

La relación de los cables de acero están basadas en construcción 6x37 para polipastos de fabricación Norteamericana.

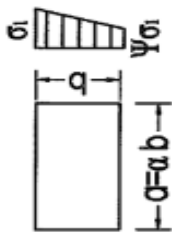
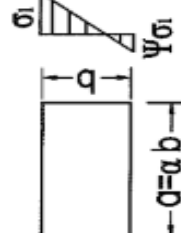
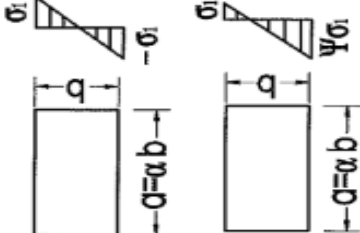
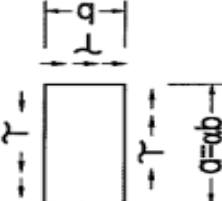
**Anexo 2:** Diámetro de rueda y distancia entre ruedas para testeros tipo monorriel.

Entre centros de ruedas (mm)		GRUAS MONORRAILES										
		RUEDA-MOTOR										
		Luz (m)										
		30	27	26	25	24	23	22	21	19	15	
		Luz (m)										
4200		Ø 315-VC										
3600		Ø 250-VC										
3100		Ø 160-VB2										
2600		Ø 125-VB1										
2100												
		Capacidad (tn)										
		0	1	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10

**Anexo 3:** Diámetro de rueda y distancia entre ruedas para testeros tipo birriel.

Entre centros de ruedas (mm)		GRUAS BIRRAILES																Entre centros de ruedas (mm)					
(Ø125 - 315)		RUEDA-MOTOR								GRUAS BIRRAILES								(Ø400 y 500)					
4200	3600	3100	2600	2100	Luz (m)														4200	3600	3100	2600	
					30																		
					28																		
					27																		
					25																		
					24																		
					23																		
					22																		
					21																		
					20																		
					19																		
					17.5																		
					15																		
					13.5																		
					12.5																		
					10																		
					6.5																		
					4																		

**Anexo 4:** Coeficientes de pandeo de compresión y corte.


Case	Loading		Buckling Stress	Range of Application	Buckling Coefficient
1	Compressive stresses, varying as a straight line. $0 \leq \psi \leq 1$		$\sigma_k = K_\psi \sigma_e$	$\alpha \geq 1$ $\alpha < 1$	$K_\psi = \frac{8.4}{\psi + 1.1}$ $K_\psi = \left[ \frac{1}{\alpha} \right] \left[ \frac{2.1}{\psi + 1.1} \right]$
2	Compressive and tensile stresses, varying as a straight line and with the compression predominating. $-1 < \psi < 0$		$\sigma_k = K_\psi \sigma_e$		$K_\psi = [(1+\psi)K'] - (\psi K'') + [10\psi(1+\psi)]$ wherein $K'$ is the buckling coefficient for $\psi = 0$ (case 1) and $K''$ is the buckling coefficient for $\psi = -1$ (case 3).
3	Compressive and tensile stresses, varying as a straight line, with equal edge values, $\psi = -1$ or with predominantly tensile stresses, $\psi < -1$		$\sigma_k = K_\psi \sigma_e$	$\alpha \geq \frac{2}{3}$ $\alpha < \frac{2}{3}$	$K_\psi = 23.9$ $K_\psi = 15.87 + \frac{1.87}{\alpha^2} + 8.6\alpha^2$
4	Uniformly distributed shear stresses. $\psi = 1$		$\tau_k = K_\psi \sigma_e$	$\alpha \geq 1$ $\alpha < 1$	$K_\psi = 5.34 + \frac{4.00}{\alpha^2}$ $K_\psi = 4.00 + \frac{5.34}{\alpha^2}$

**Anexo 5:** Tabla de polipastos de R&M Materials Handling.

Currency: USD Units: Metric Frequency: 60 Hz		<div>SPACEMASTER<sup>SM</sup> <i>SX</i></div> ELECTRIC WIRE ROPE HOIST					Page 15 June 2, 2015				
						List Prices					
Hoist Model	FEM Duty Class	Lift (m)	Lift Speed (m/min)	Hoist Motor (kW)	Reeving	Foot Mount (F0)	Low HR (L0)	Normal HR (N0)	Double Girder (D0)	D.G. Gauge (mm)	
20000 kg Capacity - Single Reeved											
SX60410200P64EG	1Am	23.5	4.8/0.8	18/3	4 P.S.	34321	NA	48692	41790	2400	
SX60410200P64EH	1Am	30.5	4.8/0.8	18/3	4 P.S.	37070	NA	52333	44916	3100	
SX60410200P64EJ	1Am	40	4.8/0.8	18/3	4 P.S.	39775	NA	55276	47442	3400	
SX60410200P64EK	1Am	48.5	4.8/0.8	18/3	4 P.S.	42507	NA	58238	49984	4200	
SX60610200P66EC	3m	5	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	31422	NA	46873	40228	1400	
SX60610200P66ED	3m	7	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	32529	NA	47950	41153	1700	
SX60610200P66EE	3m	9	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	34044	NA	50124	43018	1700	
SX60610200P66EF	3m	12	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	36091	NA	51371	44091	2000	
SX60610200P66EG	3m	15.5	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	38737	NA	53873	46237	2400	
SX60610200P66EH	3m	20	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	41383	NA	56545	48532	3100	
SX60610200P66EJ	3m	26.5	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	43994	NA	59337	50925	3400	
SX60610200P66EK	3m	32	3/0.5	14/2.3	6 P.S.	46675	NA	62143	53335	4200	
25000 kg Capacity - Single Reeved											
SX60610250P65EC	2m	5	3/0.5	18/3	6 P.S.	31422	NA	46873	40228	1400	
SX60610250P65ED	2m	7	3/0.5	18/3	6 P.S.	32529	NA	47950	41153	1700	
SX60610250P65EE	2m	9	3/0.5	18/3	6 P.S.	34044	NA	50124	43018	1700	
SX60610250P65EF	2m	12	3/0.5	18/3	6 P.S.	36091	NA	51371	44091	2000	
SX60610250P65EG	2m	15.5	3/0.5	18/3	6 P.S.	38737	NA	53873	46237	2400	
SX60610250P65EH	2m	20	3/0.5	18/3	6 P.S.	41383	NA	56545	48532	3100	
SX60610250P65EJ	2m	26.5	3/0.5	18/3	6 P.S.	43994	NA	59337	50925	3400	
SX60610250P65EK	2m	32	3/0.5	18/3	6 P.S.	46675	NA	62143	53335	4200	
See <b>Hoist Speed Options / Hoist Inverter Pricing</b> pages for more hoist speed options / VFD hoist control adders											
<div><div><div>R&amp;M</div><div>MATERIALS</div><div>HANDLING</div><div>INC.</div></div><div><div>R&amp;M Materials Handling, Inc.</div><div>4501 Gateway Blvd.</div><div>Springfield, OH 45502</div><div>www.rmhoist.com</div></div><div><div>List prices FOB factory, Springfield, Ohio,</div><div>subject to change without notice.</div><div>Phone: 937-328-5100 Fax: 937-325-5319</div></div></div>											

**Anexo 6:** Características estándar de polipastos SX6 de R&M Materials Handling.

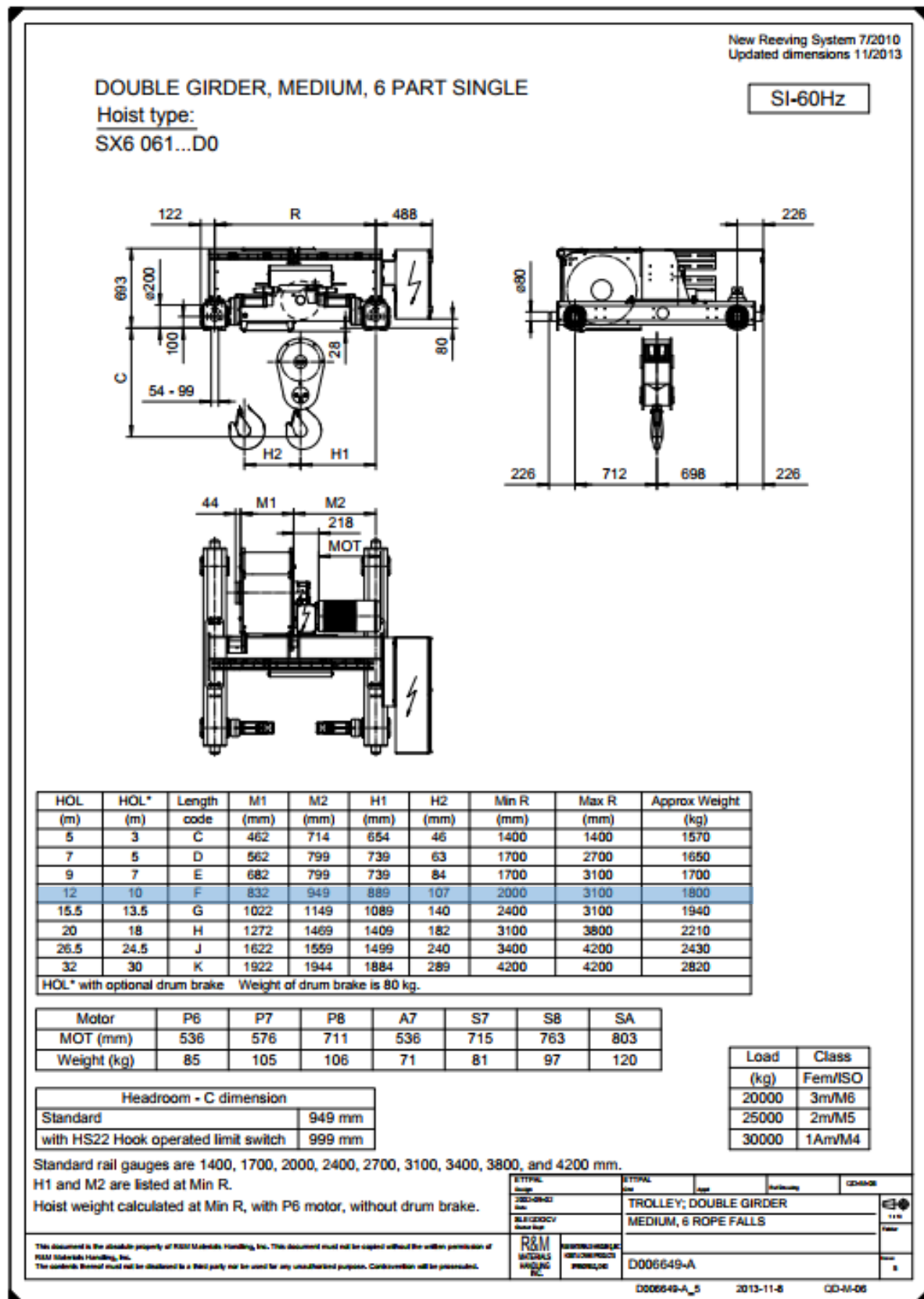
<p>Currency: USD</p> <p>Units: Metric</p> <p>Frequency: 60 Hz</p>	<p><b>SPACEMASTER<sup>®</sup> SX</b></p> <p><b>SX6 Hoist Standard Features</b></p>	<p>Page 4</p> <p>June 2, 2015</p>
Hoist	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Strain gauge overload limit device + HoistMonitor</li> <li>▶ 4 step rotary limit switch (Lower, upper, upper slowdown, phase mismatch protection)</li> </ul>	
Hoist Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Two-speed motor (6:1 ratio)</li> <li>▶ Self-adjusting D.C. disc motor brake</li> <li>▶ 60% ED</li> <li>▶ Class F insulation</li> <li>▶ IP55 motor protection</li> <li>▶ Klaxon-type bimetal switch for thermal protection</li> </ul>	
Hook	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Hook forging size &amp; strength class (See hoist technical guide for information.)</li> <li>▶ Safety latch</li> </ul>	
Reeving	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 2 or 4 part single &amp; 2 or 4 part double (true vertical lift): steel core wire rope</li> <li>▶ 6 or 8 part single &amp; 6 or 8 part double (true vertical lift): IWRC wire rope</li> <li>▶ See hoist technical guide for wire rope details.</li> <li>▶ Double reeved: Two separate ropes, 1 left-hand lay and 1 right-hand lay</li> <li>▶ Ductile iron rope guide</li> <li>▶ Ductile iron rope sheaves (See hoist technical guide for sheave-to-rope ratio.)</li> <li>▶ Sheave to rope diameter ratio meets ISO M6 duty class</li> </ul>	
Trolley	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Normal headroom (N0) (Note: 8 part single reeving not available)</li> <li>▶ Double girder standard gauge (D0)</li> <li>▶ Double girder trolley - two trolley drives - two wheels driven</li> <li>▶ Ductile iron wheels</li> <li>▶ Crown tread trolley wheels on Low Headroom and Normal Headroom</li> <li>▶ Bumpers</li> <li>▶ Safety drop lugs</li> </ul>	
Trolley Drive & Speed	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Inverter-duty motor with compact brake (Inverter located in hoist control panel.)</li> <li>▶ 65 fpm [20m/min] standard travel speed - set for stepless speed control</li> <li>▶ 40% ED</li> </ul>	
Electrical	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Standard voltages: 208, 230, 460 or 575 volts - 3 phase - 60Hz</li> <li>▶ For other voltages - contact R&amp;M</li> <li>▶ Standard control voltage: 115 volts</li> <li>▶ IP55 control enclosure</li> <li>▶ Assembly according to CSA standards, NEMA 3 protection rating</li> <li>▶ Standard hoist controls <b>DO NOT INCLUDE</b> a mainline contactor, control transformer or a push button pendant assembly. (Sold separately)</li> <li>▶ Plug connectors for power and control (See hoist technical guide for exceptions.)</li> </ul>	
Environment	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Ambient temperature -10°C to +40°C</li> </ul>	
Paint	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Two-component epoxy paint. (See hoist technical guide for details.)</li> </ul>	
Documents	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ One set of owner's manuals - CD ROM + paper</li> </ul>	




<p>R&amp;M Materials Handling, Inc.</p> <p>4501 Gateway Blvd.</p> <p>Springfield, OH 45502</p>	<p>www.rmhoist.com</p>	<p>Phone: 937-328-5100</p> <p>Fax: 937-325-5319</p>
--	------------------------	---



## Anexo 7: Gráfico de trolley para puentes grúa birriel con polipasto tipo SX6061...D0



**Anexo 8:** Tabla de testers de R&M Materials Handling.

Currency: USD Units: Metric		QX/QL Crane Components Top Running End Truck Pricing				Page 7 June 2, 2015	
Type	Wheel Groove Width Range (mm)	Wheel Diameter (mm)	Wheel Base (mm)	Approx. Weight/trk. (kg)	List Price per End Truck	Lead Time (weeks)	
						S.G.	D.G.
RTN32-25	54 - 94	315	2500	731	5122	8-10	8-10
RTN32-32			3150	816	5422	8-10	2-4
RTN32-40			4000	908	5799	8-10	8-10
RTN32-45			4500	964	5973	8-10	8-10
RTN32-50			5000	1086	6719	8-10	8-10
RTN32-55			5500	1147	7254	8-10	8-10
RTN32B-14	54 - 94	315	1400	1334	11399	NA	8-10
RTN32B-16			1600	1388	11954	NA	8-10
RTN32B-18			1800	1440	12489	NA	8-10
RTN32B-20			2000	1492	13090	NA	8-10
See outline drawing for wheel load information or use R&M's <b>QuoteMaster</b> ® program. Joint plates, bumpers, and drives are sold separately. Bogie end truck weight and price is for two end trucks plus connector.							
<b>End Truck</b>				<b>Suitable Bridge Drive</b>			
RSN09, RSN11, RSN14, RSN16, RTN/L09, RTN11, RTN14				GES3			
RTN16, RTN20				GES3, GES4			
RT25, RTN25, RTN32				GES4, GES5			
RTN40, RT50				GES5			
							
R&M Materials Handling, Inc. 4501 Gateway Blvd. Springfield, OH 45502				List prices FOB factory, Springfield, Ohio, subject to change without notice. Phone: 937-328-5100 Fax: 937-325-5319			

## Anexo 9: Especificaciones de bloques de rueda de R&M Materials Handling.



R&M Materials Handling, Inc  
Springfield, Ohio USA  
☎ : 800 955-9967  
www.rmhoist.com

RTN, RTL & RSN End Trucks  
WB-R Wheel Blocks  
Technical Guide  
June 2012

### 14.7 Wheel Block Specifications

Wheel diameter and GES type	Model	Wheel diameter	Specification	GES shaft specification
	WB-R125	125 mm	GES3	S3
	WB-R160	160 mm	GES3, GES4	S3
	WB-R200	200 mm	GES3, GES4	S3
	WB-R250	250 mm	GES4, GES5	S2
	WB-R315	315 mm	GES4, GES5	S2
	WB-R400	400 mm	GES5	S1
Groove width	Wheel dia.	Groove width	Wheel groove widths - metric	Min. wheel groove - metric
	125 mm	50 - 60 mm	50, 55, 60 mm	Rail head width + 10 mm
	160 mm	52 - 72 mm	52, 57, 62, 67, 72 mm	Rail head width + 12 mm
	200 mm	54 - 74 mm	54, 59, 64, 69, 74 mm	Rail head width + 14 mm
	250 mm	54 - 84 mm	54, 59, 64, 69, 74, 79, 84 mm	Rail head width + 14 mm
	315 mm	64 - 94 mm	64, 69, 74, 79, 84, 89, 94 mm	Rail head width + 14 mm
	400 mm	75 - 115 mm	75, 80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115 mm	Rail head width + 15 mm
Flangeless wheels and guide rollers are used for wider rails.				
Wheel	Idler wheel Drive wheel			
Drive wheel orientation	Left hand Right hand			
Rail	ASCE Flat Bar BETH			
GES drive	GES gear with Inverter-duty motor  GES gear with two-speed, pole change motors; limited travelling speeds available with two-speed motors  One wheel per end truck is driven as standard.  Standard travel speeds with Inverter control: 65, 80, 100, 130 fpm [20, 25, 32, 40 m/min]  Standard travel speed with two-speed control: 80/20 fpm [25/6 m/min]			
Connection type	Connection code	Specification	Models	
	H	Head (bolted) connection	WB-R125 – WB-R400	
	W	Welded connection	WB-R125 – WB-R400	
	I	Inserted (pinned) connection	WB-R125 – WB-R400	
	S	Bolted & pinned connection	WB-R125 – WB-R400	
	A	Welded & pinned connection	WB-R200 – WB-R400	
Bumpers	Bumper code	Specification	Wheel block wheel diameter	
	G	PUR bumper D100 mm x 100 mm	125 mm	
	M	PUR bumper D125 mm x 125 mm	160 mm, 200 mm	
	H	PUR bumper D160 mm x 160 mm	250 mm, 315 mm	
	I	PUR bumper D200 mm x 200 mm	400 mm	
Bumpers must be added to wheel block separately.				
Options	Anti-derail device Bumper extension		Rail cleaning device Guide rollers (bolt on)	
Surface treatment	Primer only (RAL 7038 gray for frame)			

**Anexo 10:** Tabla de cargas admisibles en bloques de rueda.



R&M Materials Handling, Inc  
Springfield, Ohio USA  
☎: 800 955-9967  
www.rmhoist.com

RTN, RTL & RSN End Trucks  
WB-R Wheel Blocks  
Technical Guide  
June 2012

**14.8.5 WB-R315**

Pdynamic = 1.15 x Pstatic				Maximum permissible dynamic wheel load 315 mm diameter wheel					
FEM Duty	CMAA Duty	Speed	Due to bearing	BETH 135	ASCE 80	ASCE 60	80 mm	70 mm	60 mm
2m	C	20 m/min 65 fpm	253 kN 56.9 kips	239.8 kN 54 kips	175.3 kN 39.4 kips	164.7 kN 37.1 kips	243 kN 54.7 kips	210 kN 47.3 kips	177 kN 39.8 kips
		25 m/min 80 fpm	253 kN 56.9 kips	235.3 kN 53 kips	172 kN 38.7 kips	161.6 kN 36.4 kips	238 kN 53.6 kips	206 kN 46.4 kips	174 kN 39.2 kips
		32 m/min 100 fpm	253 kN 56.9 kips	226.2 kN 50.9 kips	165.4 kN 37.2 kips	155.4 kN 35 kips	229 kN 51.5 kips	198 kN 44.6 kips	167 kN 37.6 kips
		40 m/min 130 fpm	253 kN 56.9 kips	219.4 kN 49.4 kips	160.4 kN 36.1 kips	150.8 kN 33.9 kips	222 kN 50 kips	192 kN 43.2 kips	162 kN 36.5 kips
		50 m/min 160 fpm	253 kN 56.9 kips	212.6 kN 47.8 kips	155.5 kN 35 kips	146.1 kN 32.9 kips	216 kN 48.6 kips	186 kN 41.9 kips	157 kN 35.3 kips
		63 m/min 200 fpm	243 kN 54.7 kips	203.7 kN 45.8 kips	148.8 kN 34.5 kips	139.8 kN 31.5 kips	206 kN 43.4 kips	178 kN 40.1 kips	151 kN 44 kips
3m	D	20 m/min 65 fpm	253 kN 56.9 kips	215.9 kN 48.6 kips	157.8 kN 35.5 kips	148.2 kN 33.3 kips	219 kN 49.3 kips	189 kN 42.5 kips	160 kN 36 kips
		25 m/min 80 fpm	253 kN 56.9 kips	211.7 kN 47.6 kips	154.8 kN 34.8 kips	145.5 kN 32.7 kips	215 kN 48.3 kips	186 kN 41.9 kips	157 kN 35.3 kips
		32 m/min 100 fpm	242 kN 54.5 kips	203.7 kN 45.8 kips	148.8 kN 33.5 kips	139.8 kN 31.4 kips	206 kN 46.4 kips	178 kN 40.1 kips	151 kN 34 kips
		40 m/min 130 fpm	226 kN 50.9 kips	197.5 kN 44.4 kips	144.3 kN 32.5 kips	135.7 kN 30.5 kips	200 kN 45 kips	173 kN 38.9 kips	146 kN 32.9 kips
		50 m/min 160 fpm	212 kN 47.7 kips	191.4 kN 43.1 kips	140 kN 31.5 kips	131.4 kN 29.6 kips	194 kN 43.7 kips	168 kN 37.8 kips	142 kN 32 kips
		63 m/min 200 fpm	197 kN 44.3 kips	183.3 kN 41.2 kips	134 kN 30.2 kips	125.8 kN 28.3 kips	186 kN 41.9 kips	161 kN 36.2 kips	136 kN 30.6 kips

## Anexo 11: Tabla de motores ABB tipo M2QA de 6 polos.

Motores trifásicos tipo jaula de ardilla totalmente cerrados autoventilados de Eficiencia Estándar

Velocidad 1200 RPM (6 polos) - M2QA - IP55 - IC411 - Aislamiento clase F/ DT B - 220/380/440V - B3 - 60Hz

REFERENCIA PEDIDO	TIPO	CARCASA	POTENCIA		Vel. RPM	F.S.	Eff [%]	F.P.	In[A] 220V	In[A] 440V	PRECIO LISTA
			HP	kW							
3GQA073302-ASA	M2QA	71 M6B	0.33	0.25	1080	1.15	59,8	0,61	1.8	0.90	\$ 160.00
3GQA083301-ASA	M2QA	80 M6A	0.5	0.37	1108	1.15	63,3	0,65	2.4	1.20	\$ 182.00
3GQA083302-ASA	M2QA	80 M6B	0.75	0.55	1105	1.15	64,9	0,67	3.4	1.7	\$ 198.00
3GQA093101-ASA	M2QA	90 S6A	1	0.75	1111	1.15	70,8	0,72	3.8	1.9	\$ 241.00
3GQA093501-ASA	M2QA	90 L6A	1.5	1.1	1105	1.15	73,3	0,75	5.4	2.7	\$ 300.00
3GQA103501-ASA	M2QA	100 L6A	2	1.5	1135	1.15	76,3	0,75	6.8	3.4	\$ 316.00
3GQA113301-ASA	M2QA	112 M6A	3	2	1148	1.15	79,3	0,75	9.8	4.9	\$ 379.00
■ 3GQA113302-ASA	M2QA	112 M6B *	4	3.0	1140	1.00	80,6	0,77	12.7	6.3	\$ 473.00
3GQA133301-ADA	M2QA	132 M6A	5	3.7	1156	1.15	84,2	0,74	15.6	7.8	\$ 622.00
3GQA133301-ADA6	M2QA	132 M6A *	6	4.5	1147	1.15	84,0	0,79	17.8	8.9	\$ 668.00
■ 3GQA133302-ADA	M2QA	132 M6B	7.5	5.5	1152	1.15	85,7	0,78	21.8	10.9	\$ 784.00
3GQA133303-ADA	M2QA	132 M6C *	10	7.5	1160	1.00	86	0,80	28.6	14.3	\$ 861.00
3GQA163501-ADA	M2QA	160 L6A	12.5	9	1173	1.15	89,8	0,74	36.6	18.3	\$ 1,415.00
3GQA163501-ADA15	M2QA	160 L6A	15	11	1167	1.15	90,0	0,79	41.2	20.6	\$ 1,445.00
3GQA163502-ADA	M2QA	160 L6B *	20	15	1160	1.00	85,5	0,80	57.2	28.6	\$ 1,597.00
3GQA183502-ADA	M2QA	180 L6B	25	18.5	1180	1.15	87	0,83	68.0	34.0	\$ 2,133.00
3GQA203502-ADA	M2QA	200 L6B	30	22	1173	1.15	90,6	0,85	76.0	38.0	\$ 2,654.00
3GQA203503-ADA	M2QA	200 L6C	40	30	1180	1.15	90,4	0,84	103.3	51.7	\$ 3,453.00
3GQA223302-ADA	M2QA	225 M6B	50	37	1180	1.15	92	0,84	126.7	63.3	\$ 4,153.00
3GQA253301-ADA	M2QA	250 M6A	60	45	1176	1.15	92,6	0,91	140.0	70.0	\$ 4,424.00
3GQA283301-ADA	M2QA	280 M6A	75	55	1176	1.15	92,9	0,88	178	89	\$ 6,513.00
3GQA283302-ADA	M2QA	280 M6B *	100	75	1175	1.00	93	0,88	240	120	\$ 8,497.00
■ 3GQA313101-ADA	M2QA	315 S6A	125	90	1186	1.15	93,8	0,88	294	147	\$ 9,031.00
■ 3GQA313501-ADA	M2QA	315 L6A	150	110	1188	1.15	94,6	0,88	352	176	\$ 12,907.00

\* Incremento de temperatura clase F (Por norma 105 K, diseño ABB <90 K)

### NOTAS:

(1) Aplican en general las características descritas en la ficha técnica incluida en esta lista de precios

(2) Para accesorios opcionales y consideraciones especiales consultar con ABB

■ Producto importado bajo pedido



## Anexo 12: Tabla de reductores Motovario.

Serie VSF / Standard / IEC

### 5.9 NRV/NMRV-P REDUCTOR COMBINADO - 1140 rpm

CATÁLOGO TÉCNICO

#### NRV-P063/130

Mn <sub>2</sub> [Nm]	i	Pn <sub>1</sub> [kW]	n <sub>2</sub> [rpm]	Fr1 [N]	Fr2 [N]
1183	100,00	1,97	11,4	667	10722
1668	150,00	1,97	7,6	667	12274
1600	200,00	1,44	5,7	667	13500
1530	250,00	1,13	4,6	667	13500
1760	300,00	1,19	3,8	667	13500
1650	400,00	0,88	2,9	667	13500
1550	500,00	0,69	2,3	667	13500
1760	600,00	0,64	1,9	700	13500
1760	750,00	0,53	1,5	700	13500
1760	900,00	0,47	1,3	700	13500
1760	1200,00	0,37	1,0	700	13500
1760	1500,00	0,32	0,8	700	13500
1760	1800,00	0,28	0,6	700	13500
1650	2400,00	0,21	0,5	700	13500
1550	3000,00	0,16	0,4	700	13500
1550	4000,00	0,13	0,3	700	13500
1550	5000,00	0,12	0,2	700	13500

#### NRV-P063/150

Mn <sub>2</sub> [Nm]	i	Pn <sub>1</sub> [kW]	n <sub>2</sub> [rpm]	Fr1 [N]	Fr2 [N]
2148	150,00	2,51	7,6	580	18000
2195	200,00	1,97	5,7	667	18000
2050	250,00	1,51	4,6	667	18000
2340	300,00	1,45	3,8	700	18000
2670	400,00	1,40	2,9	667	18000
2330	500,00	1,04	2,3	667	18000
2670	600,00	0,97	1,9	700	18000
2330	750,00	0,72	1,5	700	18000
2100	900,00	0,52	1,3	700	18000
2670	1200,00	0,55	1,0	700	18000
2330	1500,00	0,41	0,8	700	18000
2100	1800,00	0,31	0,6	700	18000
2670	2400,00	0,33	0,5	700	18000
2330	3000,00	0,24	0,4	700	18000
2330	4000,00	0,20	0,3	700	18000
2330	5000,00	0,18	0,2	700	18000

## Anexo 13: Datos de engrane.

Serie VSF / Standard / IEC

### 2.5 DATOS ENGRANE

CATÁLOGO TÉCNICO

#### 2.5.1 Datos engrane

	i	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
025	Z1	6	4	3	2	2	-	1	1	1	1	-	-
	T	35°02'	25°03'	19°19'	13°09'	10°41'		6°40'	5°23'	4°33'	3°53'		
	Mx	1,3	1,3	1,3	1,3	0,995		1,3	0,995	0,8	0,67		
	$\eta_0(1400)$	0,87	0,85	0,83	0,79	0,75		0,67	0,62	0,58	0,55		
	$\eta_a$	0,72	0,71	0,68	0,61	0,56		0,46	0,41	0,36	0,34		
030	Z1	6	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	-
	T	27°04'	18°49'	14°20'	9°40'	7°42'	5°35'	4°52'	3°52'	3°12'	2°45'	2°07'	
	Mx	1,44	1,44	1,44	1,44	1,09	1,7	1,44	1,09	0,89	0,74	0,56	
	$\eta_0(1400)$	0,87	0,85	0,83	0,78	0,74	0,69	0,66	0,6	0,56	0,52	0,45	
	$\eta_a$	0,72	0,67	0,63	0,55	0,5	0,43	0,39	0,35	0,31	0,27	0,23	
040	Z1	6	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	34°19'	24°28'	18°55'	12°49'	10°23'	8°43'	6°29'	5°14'	4°23'	3°47'	2°57'	2°25'
	Mx	2,06	2,06	2,06	2,06	1,57	1,27	2,06	1,57	1,27	1,06	0,81	0,65
	$\eta_0(1400)$	0,89	0,87	0,85	0,83	0,79	0,76	0,71	0,66	0,63	0,59	0,53	0,48
	$\eta_a$	0,74	0,71	0,67	0,6	0,55	0,51	0,45	0,4	0,36	0,32	0,28	0,24
050	Z1	6	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	33°37'	23°54'	18°23'	12°30'	10°06'	8°29'	6°19'	5°06'	4°16'	3°40'	2°52'	2°21'
	Mx	2,56	2,56	2,56	2,56	1,95	1,58	2,56	1,95	1,58	1,32	1	0,8
	$\eta_0(1400)$	0,89	0,88	0,87	0,83	0,8	0,77	0,73	0,68	0,64	0,6	0,54	0,5
	$\eta_a$	0,74	0,7	0,66	0,59	0,55	0,51	0,44	0,39	0,35	0,32	0,27	0,23
063	Z1	-	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	-	24°31'	18°53'	12°51'	10°25'	8°45'	6°30'	5°15'	4°24'	3°47'	2°58'	2°26'
	Mx	-	3,25	3,25	3,25	2,48	2	3,25	2,48	2	1,68	1,27	1,02
	$\eta_0(1400)$	-	0,89	0,87	0,84	0,82	0,79	0,75	0,71	0,67	0,63	0,58	0,52
	$\eta_a$	-	0,71	0,67	0,6	0,55	0,51	0,45	0,4	0,36	0,33	0,28	0,24
075	Z1	-	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	-	26°17'	20°20'	13°52'	11°18'	9°32'	7°02'	5°42'	4°48'	4°08'	3°14'	2°40'
	Mx	-	3,94	3,94	3,94	3	2,42	3,94	3	2,42	2,03	1,54	1,24
	$\eta_0(1400)$	-	0,89	0,88	0,86	0,83	0,81	0,77	0,73	0,7	0,66	0,61	0,56
	$\eta_a$	-	0,71	0,68	0,61	0,57	0,53	0,46	0,42	0,38	0,35	0,29	0,26
090	Z1	-	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	-	29°11'	22°44'	15°36'	12°50'	10°54'	7°57'	6°30'	5°30'	4°46'	3°45'	3°06'
	Mx	-	4,84	4,84	4,84	3,69	2,98	4,84	3,69	2,98	2,5	1,89	1,52
	$\eta_0(1400)$	-	0,9	0,89	0,87	0,85	0,83	0,79	0,76	0,73	0,7	0,64	0,6
	$\eta_a$	-	0,73	0,7	0,64	0,6	0,56	0,49	0,45	0,41	0,38	0,32	0,28
105	Z1	-	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	-	28°15'	21°57'	15°02'	14°41'	12°34'	7°39'	7°28'	6°22'	5°32'	4°24'	3°39'
	Mx	-	5,875	5,875	5,875	4,62	3,73	5,875	4,62	3,73	3,13	2,37	1,91
	$\eta_0(1400)$	-	0,9	0,89	0,87	0,86	0,85	0,8	0,79	0,76	0,73	0,68	0,64
	$\eta_a$	-	0,72	0,69	0,63	0,62	0,59	0,48	0,48	0,44	0,41	0,36	0,32
110	Z1	-	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	-	28°15'	21°57'	15°02'	14°41'	12°34'	7°39'	7°28'	6°22'	5°32'	4°24'	3°39'
	Mx	-	5,875	5,875	5,875	4,62	3,73	5,875	4,62	3,73	3,13	2,37	1,91
	$\eta_0(1400)$	-	0,9	0,89	0,87	0,86	0,85	0,8	0,79	0,76	0,73	0,68	0,64
	$\eta_a$	-	0,72	0,69	0,63	0,62	0,59	0,48	0,48	0,44	0,41	0,36	0,32
130	Z1	-	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	T	-	28°41'	22°19'	15°18'	13°52'	11°49'	7°47'	7°02'	5°58'	5°11'	4°07'	3°24'
	Mx	-	6,97	6,97	6,97	5,4	4,37	6,97	5,4	4,37	3,67	2,77	2,23
	$\eta_0(1400)$	-	0,91	0,89	0,87	0,87	0,85	0,81	0,79	0,76	0,73	0,69	0,65
	$\eta_a$	-	0,72	0,69	0,63	0,61	0,58	0,49	0,46	0,43	0,39	0,34	0,3
150	Z1	-	6	4	3	2	2	2	1	1	1	1	1
	T	-	32°09'	24°35'	17°27'	12°53'	11°19'	9°50'	6°32'	5°43'	4°57'	3°55'	3°14'
	Mx	-	5,5	6,155	5,5	6,155	5	4,193	6,155	5	4,193	3,17	2,55
	$\eta_0(1400)$	-	0,91	0,9	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,74	0,69	0,65
	$\eta_a$	-	0,73	0,71	0,66	0,6	0,57	0,54	0,45	0,42	0,39	0,33	0,29

## Anexo 14: Manual de instalación.

### Requisitos del sistema operativo

Los elementos necesarios para el funcionamiento del programa son los siguientes:

- Java Development Kit (JDK) versión 8.0.1410.15 o posteriores.
- MySQL JDBC driver.
- XAMPP.

## JAVA DEVELOPMENT KIT

### Paso 1. Descargar el instalador.

El instalador de Java Development Kit versión 8.0.1410.15 viene adjunto a este archivo; sin embargo, con el fin de adquirir versiones actualizadas, es preferible descargarlo de la página web oficial de Java.

#### 1.1 Ingresar a la página web oficial de Java.

<http://www.oracle.com/technetwork/es/java/javase/downloads/index.html>

#### 1.2 Ingresar a la sección de descargas.

The screenshot shows the Oracle Java SE Downloads page. The header includes the Oracle logo, a menu icon, a search bar, and links for 'Iniciar sesión', 'País', and 'Llamar'. The breadcrumb trail reads 'Oracle Technology Network / Java / Java SE / Descargas'. The main content area is titled 'Descargas de Java SE' and features two download buttons: 'Java Platform (JDK) 8u111 / 8u112' and 'NetBeans con JDK 8'. Below these, there is a section for 'Java Platform, Standard Edition' with details about Java SE 8u111 / 8u112, including a security update and a link to the release notes. A yellow box highlights an 'Importante cambio planificado para MD5-signed JARs' starting from April 2017. The left sidebar contains a navigation menu with links to Java SE, Soporte para Java SE, Java Embedded, Java EE, Java ME, Java FX, Java DB, Web Tier, Java Card, and Comunidad. The right sidebar lists 'Java SDKs and Tools' (Java SE, Java EE and Glassfish, Java ME, Java Card, NetBeans IDE, Java Mission Control) and 'Java Resources' (Java APIs, Technical Articles, Demos and Videos, Forums, Java Magazine, Developer Training, Tutorials, Java.com).



### 1.3 Descargar el instalador de “Java SE Development Kit 8u151” de acuerdo a las características de su sistema operativo.

Java TV

New to Java

Community

Java Magazine

See also:

- Java Developer Newsletter: From your Oracle account, select **Subscriptions**, expand **Technology**, and subscribe to **Java**.
- Java Developer Day hands-on workshops (free) and other events
- Java Magazine

JDK 8u151 checksum  
JDK 8u152 checksum

**Java SE Development Kit 8u151**

You must accept the [Oracle Binary Code License Agreement for Java SE](#) to download this software.

☐ Accept License Agreement ☐ Decline License Agreement

Product / File Description	File Size	Download
Linux ARM 32 Hard Float ABI	77.9 MB	<a href="#">jdk-8u151-linux-arm32-vfp-hflt.tar.gz</a>
Linux ARM 64 Hard Float ABI	74.85 MB	<a href="#">jdk-8u151-linux-arm64-vfp-hflt.tar.gz</a>
Linux x86	168.95 MB	<a href="#">jdk-8u151-linux-i586.rpm</a>
Linux x86	183.73 MB	<a href="#">jdk-8u151-linux-i586.tar.gz</a>
Linux x64	166.1 MB	<a href="#">jdk-8u151-linux-x64.rpm</a>
Linux x64	180.95 MB	<a href="#">jdk-8u151-linux-x64.tar.gz</a>
macOS	247.06 MB	<a href="#">jdk-8u151-macosx-x64.dmg</a>
Solaris SPARC 64-bit	140.06 MB	<a href="#">jdk-8u151-solaris-sparcv9.tar.Z</a>
Solaris SPARC 64-bit	99.32 MB	<a href="#">jdk-8u151-solaris-sparcv9.tar.gz</a>
Solaris x64	140.65 MB	<a href="#">jdk-8u151-solaris-x64.tar.Z</a>
Solaris x64	97 MB	<a href="#">jdk-8u151-solaris-x64.tar.gz</a>
Windows x86	198.04 MB	<a href="#">jdk-8u151-windows-i586.exe</a>
Windows x64	205.95 MB	<a href="#">jdk-8u151-windows-x64.exe</a>

**Java SE Development Kit 8u152**

You must accept the [Oracle Binary Code License Agreement for Java SE](#) to download this software.

☐ Accept License Agreement ☐ Decline License Agreement

Product / File Description	File Size	Download
Linux ARM 32 Hard Float ABI	77.94 MB	<a href="#">jdk-8u152-linux-arm32-vfp-hflt.tar.gz</a>
Linux ARM 64 Hard Float ABI	74.88 MB	<a href="#">jdk-8u152-linux-arm64-vfp-hflt.tar.gz</a>
Linux x86	168.99 MB	<a href="#">jdk-8u152-linux-i586.rpm</a>

Java Resources

[Java APIs](#)

[Technical Articles](#)

[Demos and Videos](#)

[Forums](#)

[Java Magazine](#)

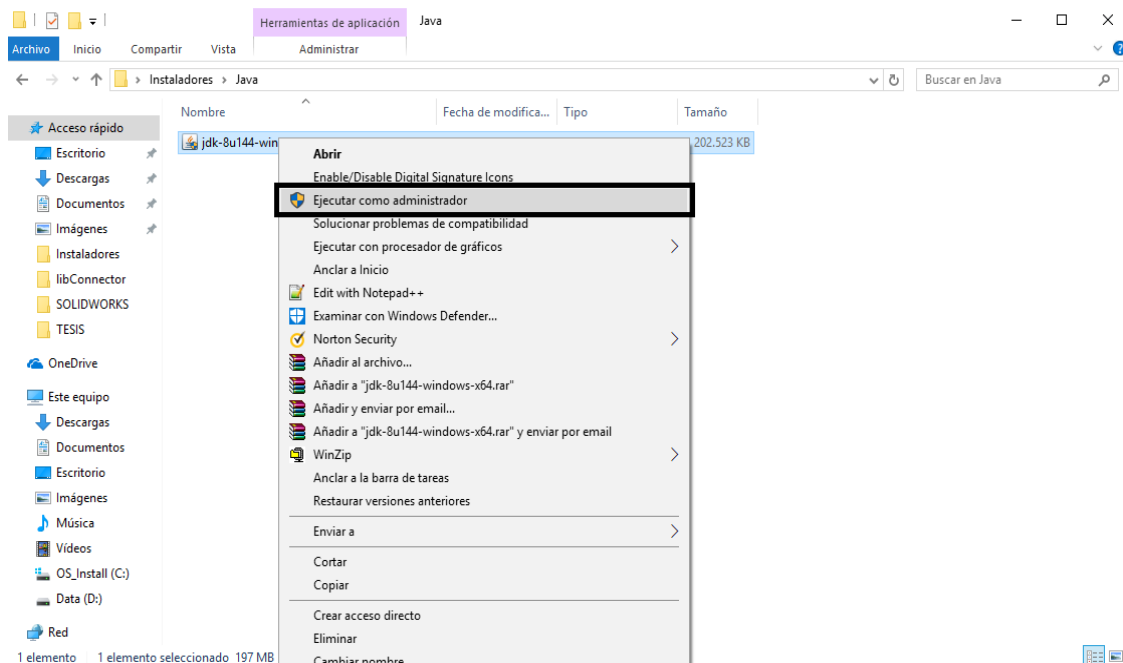
[Developer Training](#)

[Tutorials](#)

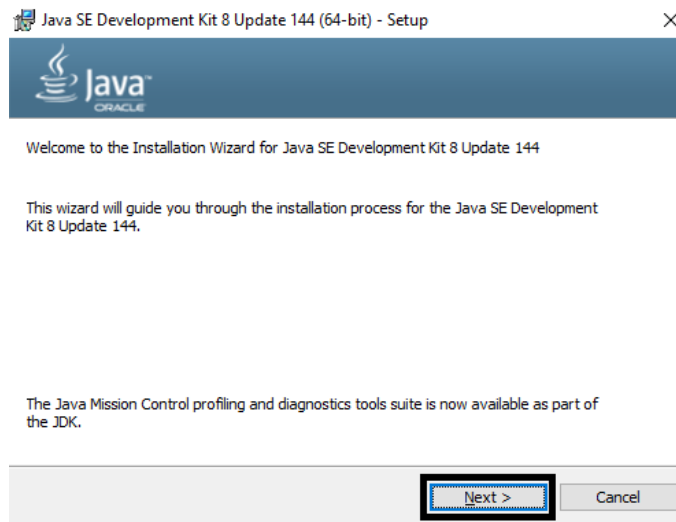
[Java.com](#)

## Paso 2. Instalar Java Development Kit.

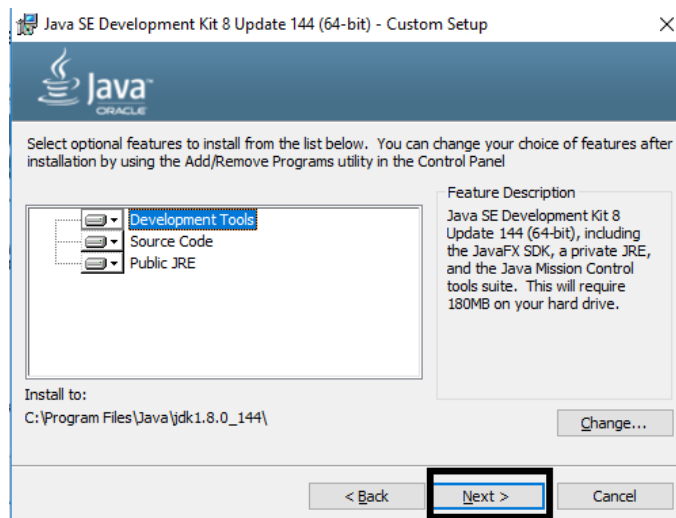
### 2.1 Ejecutar el instalador como administrador.



2.2 Hacer clic en “Next”.



2.3 Cambiar la ruta de instalación del programa si es deseado y hacer clic en “Next”.

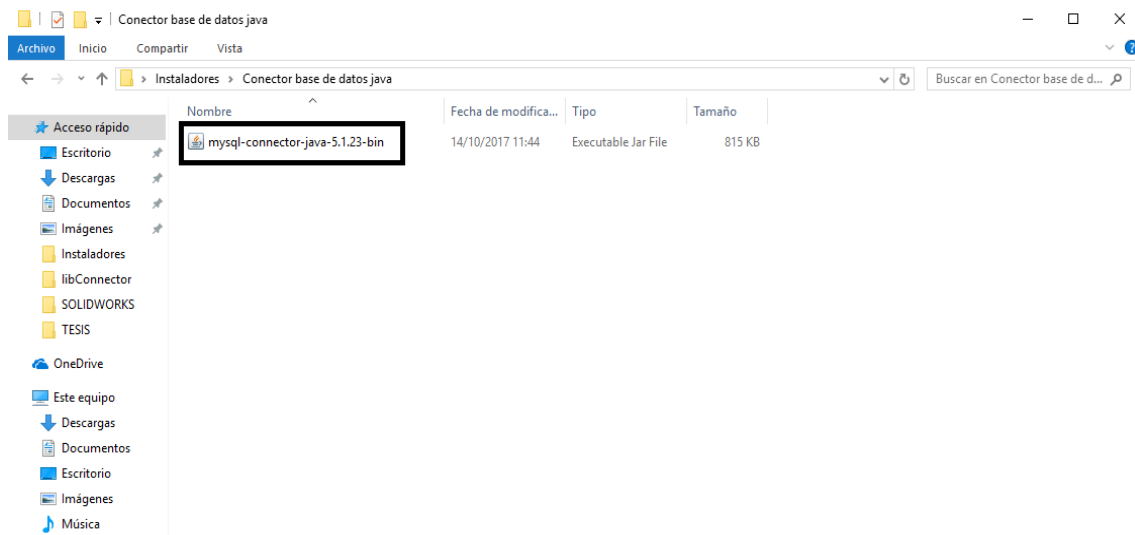


2.4 Esperar a que termine la instalación.

## MYSQL JDBC DRIVER

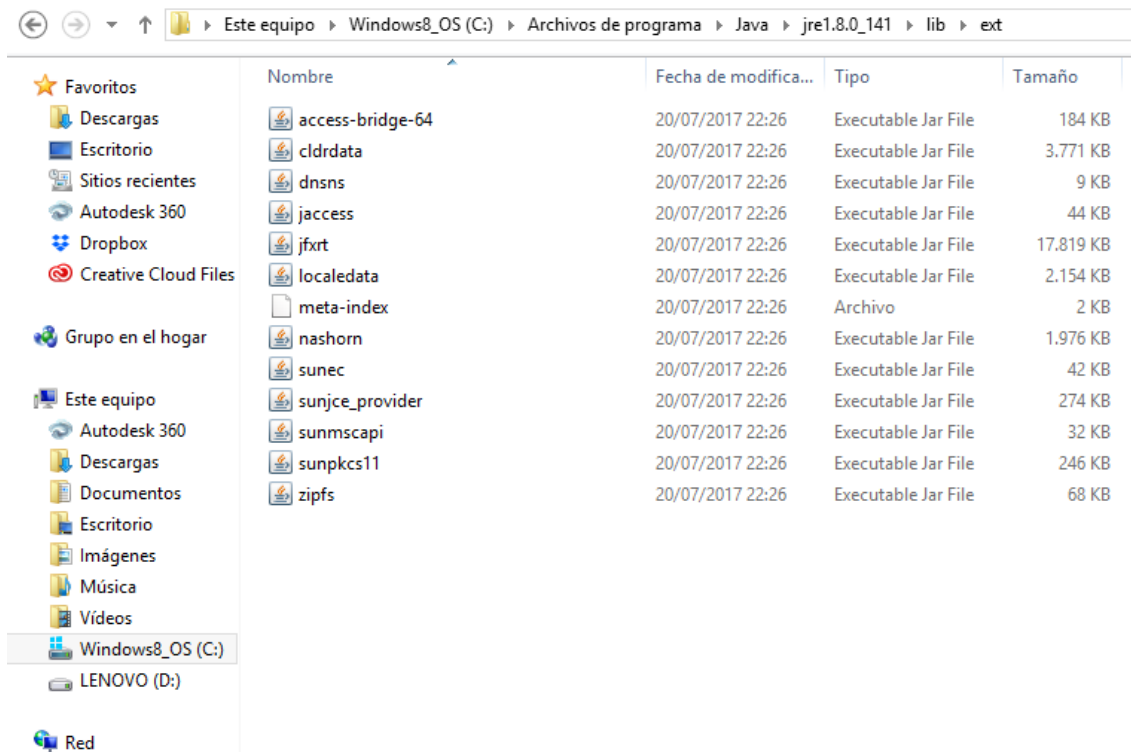
MySQL JDBC driver es el elemento que permite la conexión del programa a la base de datos. El driver viene adjunto a este archivo.

## 1. Copiar el driver.

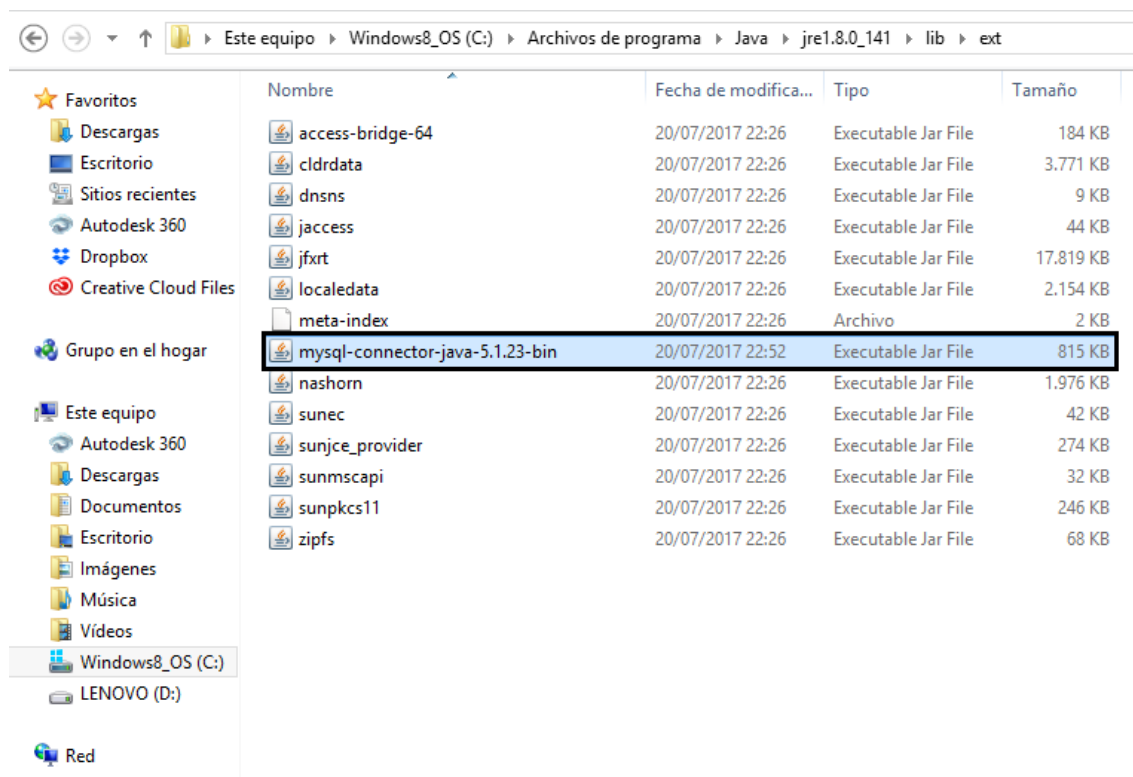


## 2. Abrir la siguiente ruta:

C:\Program Files\Java\jre1.8.0\_141\lib\ext



3. Pegar el driver en la ruta indicada.



## XAMPP

XAMPP es un servidor independiente de plataforma conformado por Apache como servidor web y MySQL como gestor de bases de datos.

**Paso 1.** Descargar el instalador.

El instalador de Xampp se encuentra adjunto a este documento, pero al igual que Java es recomendable descargarlo de la página web oficial.

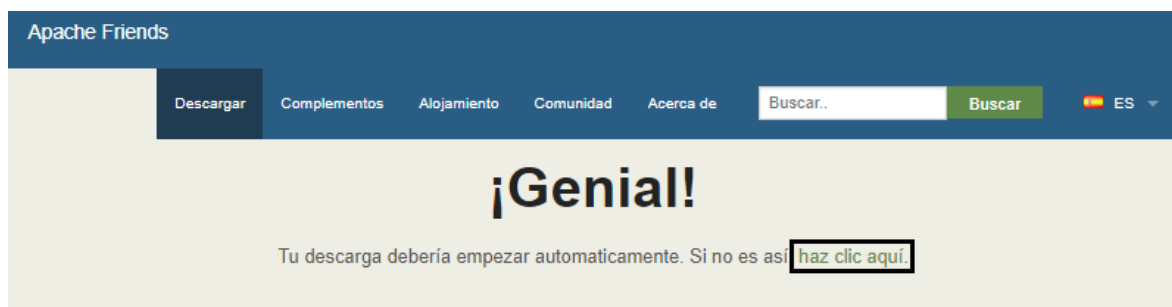
1.1. Ingresar a la página web oficial de XAMPP.

<https://www.apachefriends.org/es/index.html>

## 1.2. Seleccionar el instalador de acuerdo a su sistema operativo.



La descarga comenzará automáticamente. Si no es así, hacer clic en “haz clic aquí”.



### Leyendo

Asegúrate de leer estas instrucciones de instalación y preguntas frecuentes:

- Linux Preguntas frecuentes
- Windows Preguntas frecuentes
- OS X Preguntas frecuentes
- OS X XAMPP-VM Preguntas frecuentes

Puedes encontrar ayuda adicional en nuestros foros o en Stack Overflow.

### Comparte XAMPP con tus amigos

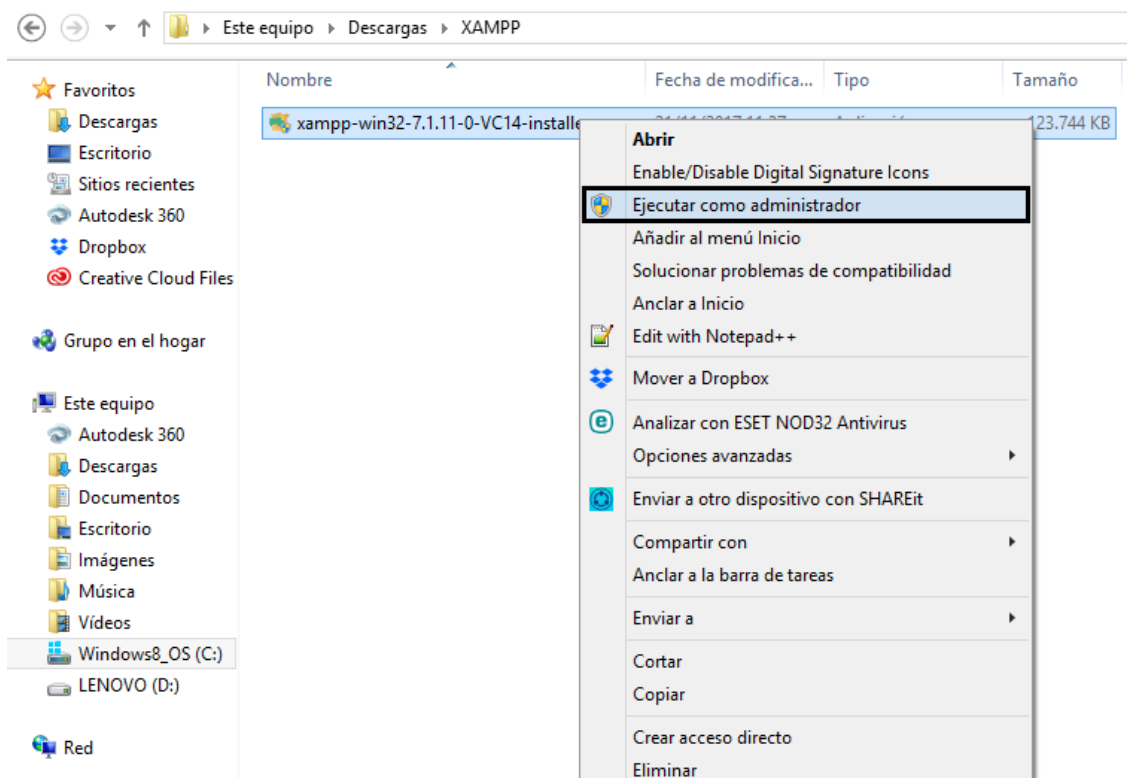
Acabo de descargar #XAMPP de @ApacheFriends  
<https://www.apachefriends.org/#opensource>

Tweet!

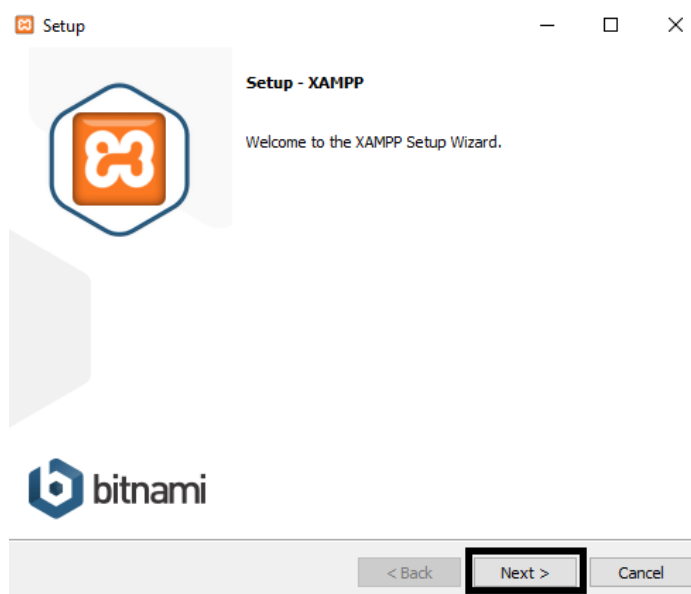


## Paso 2. Instalar XAMPP.

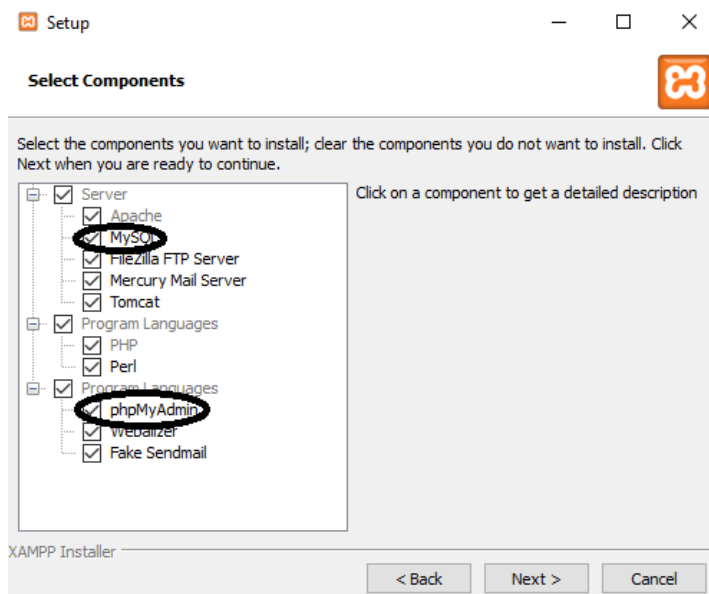
### 2.1 Ejecutar el instalador como administrador.



### 2.2 Hacer clic en “Next”



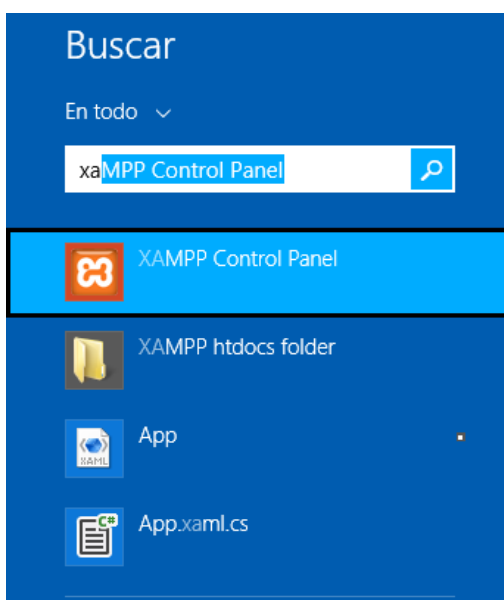
2.3 Verificar que las casillas “MySQL” y “phpMyAdmin” estén seleccionadas y hacer clic en “Next”.



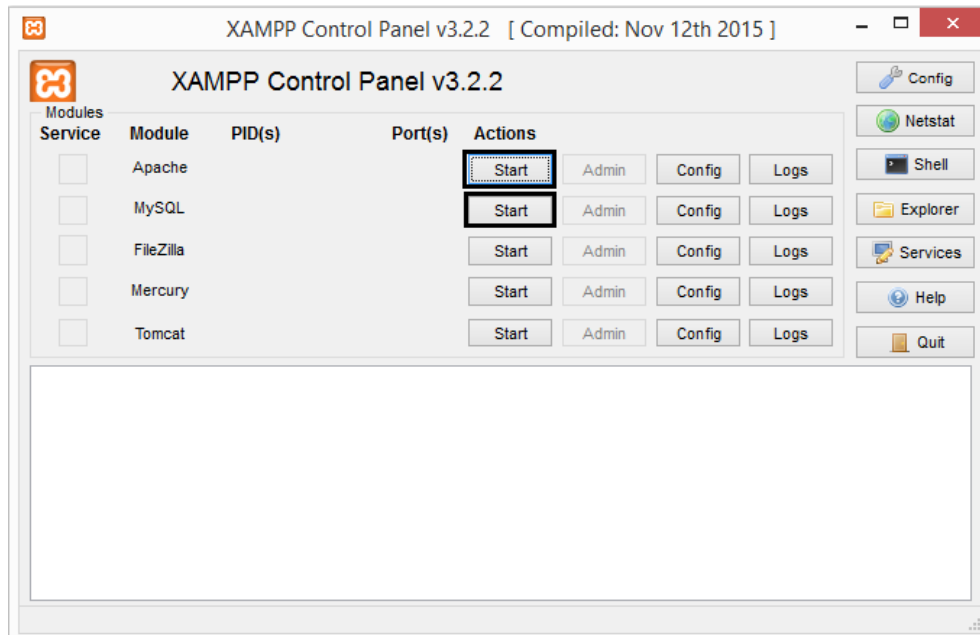
2.4 Elegir la ruta de instalación y esperar hasta que la instalación termine.

**Paso 3.** Inicializar los servidores.

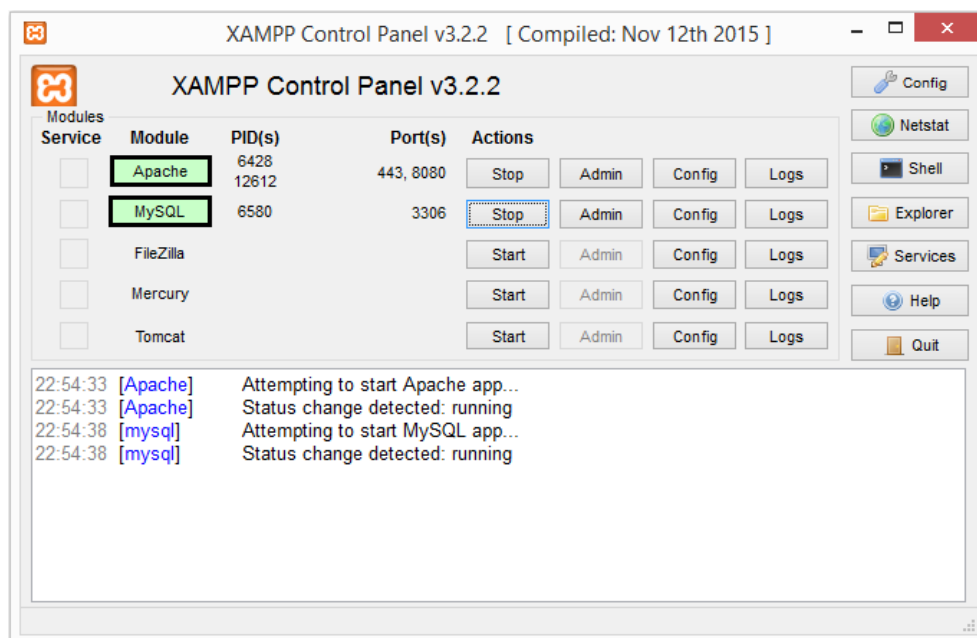
3.1 Abrir el panel de control de XAMPP.



3.2 Inicializar los módulos de Apache y MySQL haciendo clic en “Start”.



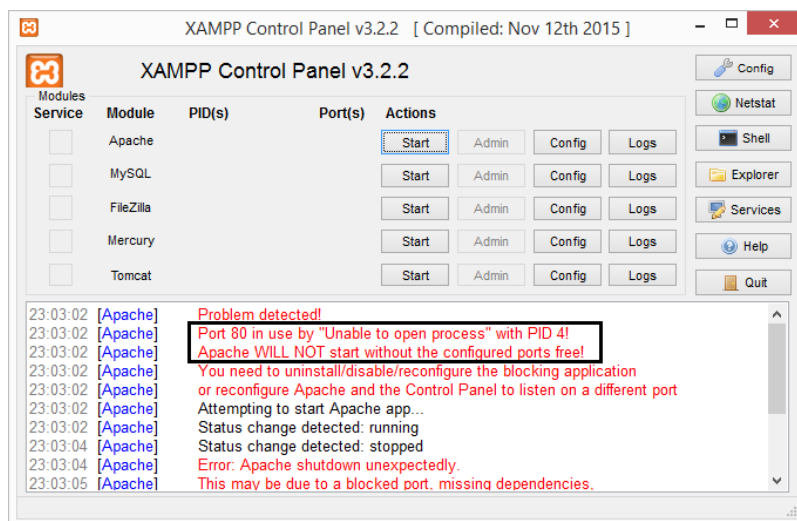
Si los módulos fueron inicializados correctamente, deberían cambiar a color verde como se muestra en la siguiente figura. En ese caso, el programa estaría listo para utilizarse.



**Nota:** Los módulos de Apache y MySQL deben ser inicializados cada vez que el sistema operativo sea reiniciado.



En caso de que el módulo de Apache no se haya inicializado correctamente, aparecerá el siguiente error en la pantalla.



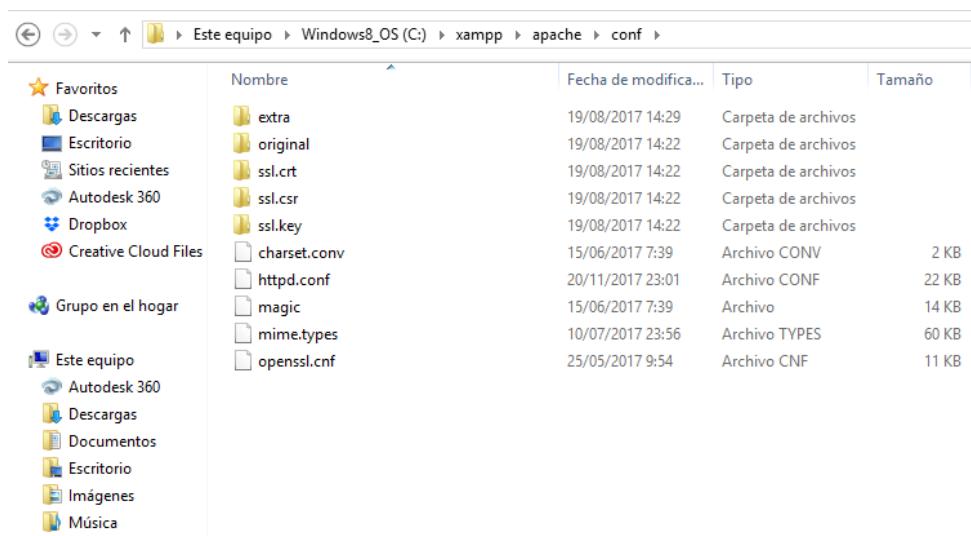
El error indica que Apache no fue inicializado correctamente porque el puerto 80 está siendo utilizado por otro proceso. Por lo tanto, es necesario configurar el puerto de XAMPP.

#### Paso 4. Modificar el puerto de Apache.

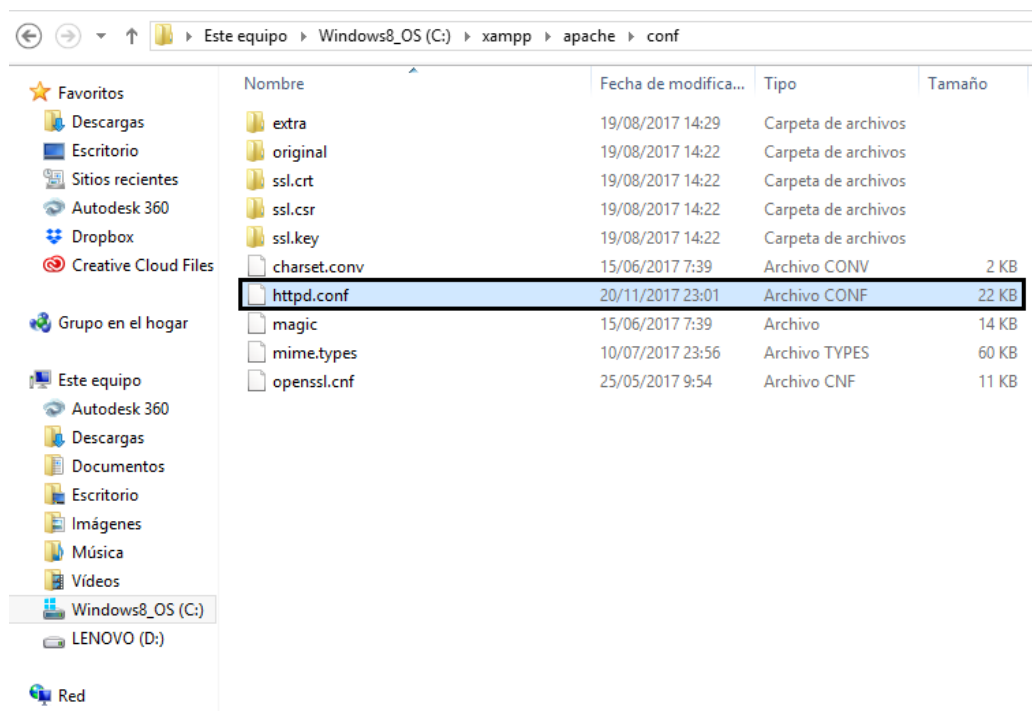
Los siguientes pasos deben ser realizados **solamente si Apache no pudo inicializarse.**

##### 4.1 Abrir la siguiente ruta:

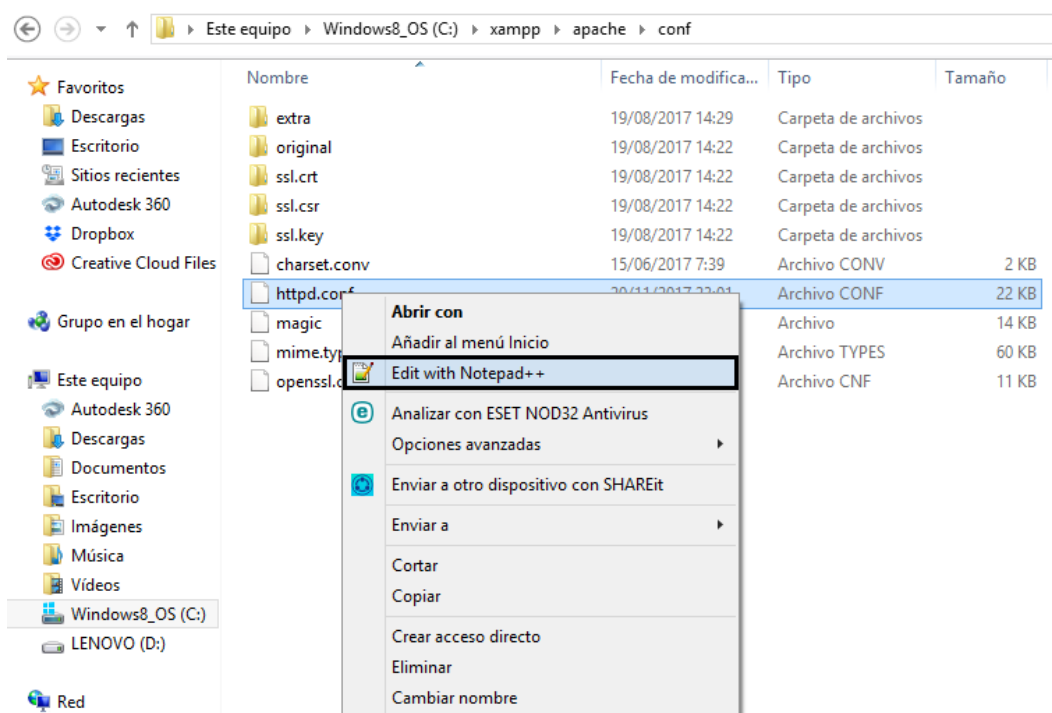
C:\xampp\apache\conf



## 4.2 Abrir el archivo “httpd.conf”.

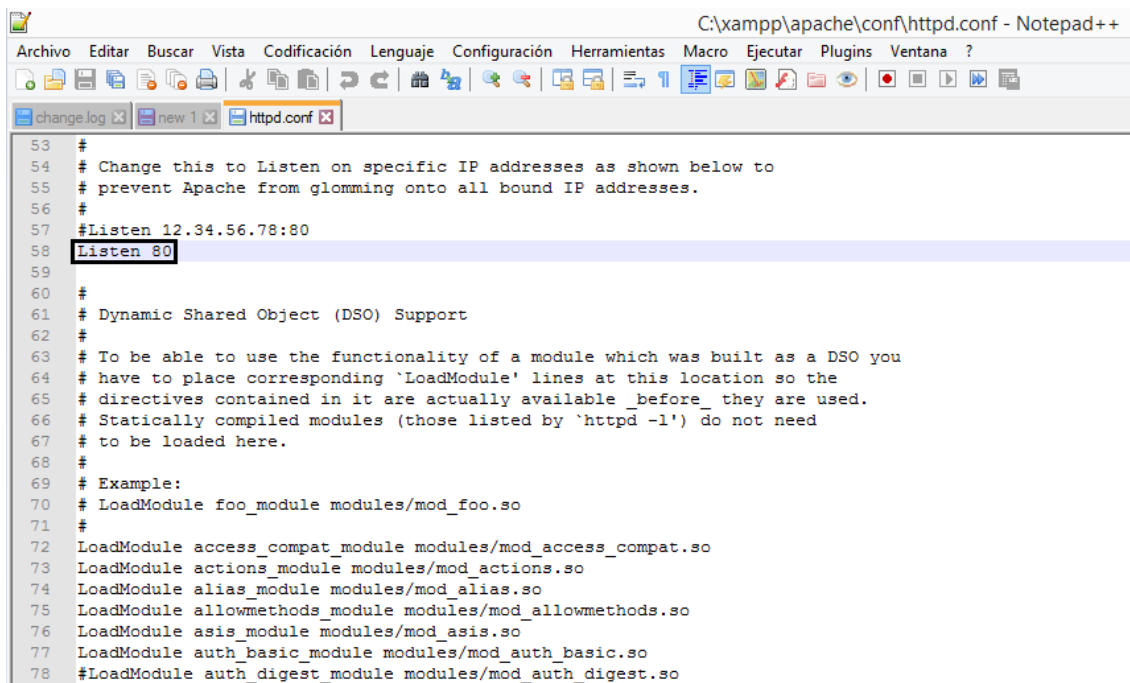


Si el contenido del documento es ilegible con el Block de Notas, se recomienda abrir el documento con el programa Notepad++ cuyo instalador se encuentra adjunto a este documento.



### 4.3 Modificar el puerto cambiando la línea “Listen 80” a “Listen 8080”.

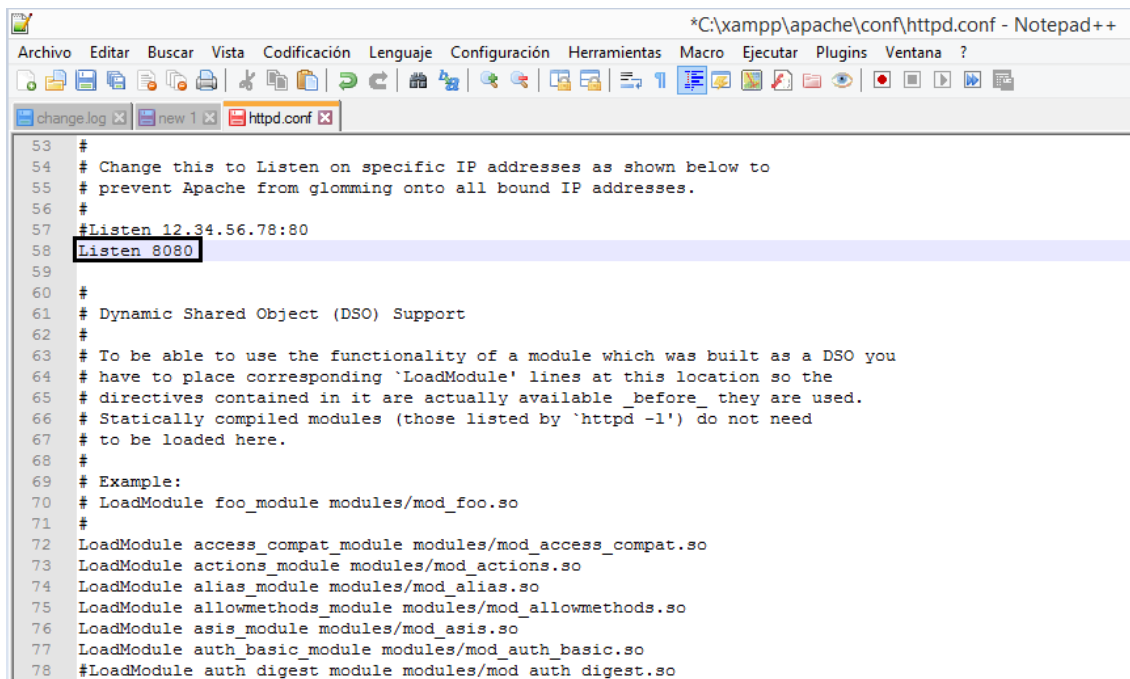
Antes:



The screenshot shows the Notepad++ editor with the file C:\xampp\apache\conf\httpd.conf open. The text is as follows:

```
53 #
54 # Change this to Listen on specific IP addresses as shown below to
55 # prevent Apache from glomming onto all bound IP addresses.
56 #
57 #Listen 12.34.56.78:80
58 Listen 80
59
60 #
61 # Dynamic Shared Object (DSO) Support
62 #
63 # To be able to use the functionality of a module which was built as a DSO you
64 # have to place corresponding 'LoadModule' lines at this location so the
65 # directives contained in it are actually available _before_ they are used.
66 # Statically compiled modules (those listed by 'httpd -l') do not need
67 # to be loaded here.
68 #
69 # Example:
70 # LoadModule foo_module modules/mod_foo.so
71 #
72 LoadModule access_compat_module modules/mod_access_compat.so
73 LoadModule actions_module modules/mod_actions.so
74 LoadModule alias_module modules/mod_alias.so
75 LoadModule allowmethods_module modules/mod_allowmethods.so
76 LoadModule asis_module modules/mod_asis.so
77 LoadModule auth_basic_module modules/mod_auth_basic.so
78 #LoadModule auth_digest_module modules/mod_auth_digest.so
```

Después:



The screenshot shows the Notepad++ editor with the file C:\xampp\apache\conf\httpd.conf open. The text is as follows:

```
53 #
54 # Change this to Listen on specific IP addresses as shown below to
55 # prevent Apache from glomming onto all bound IP addresses.
56 #
57 #Listen 12.34.56.78:80
58 Listen 8080
59
60 #
61 # Dynamic Shared Object (DSO) Support
62 #
63 # To be able to use the functionality of a module which was built as a DSO you
64 # have to place corresponding 'LoadModule' lines at this location so the
65 # directives contained in it are actually available _before_ they are used.
66 # Statically compiled modules (those listed by 'httpd -l') do not need
67 # to be loaded here.
68 #
69 # Example:
70 # LoadModule foo_module modules/mod_foo.so
71 #
72 LoadModule access_compat_module modules/mod_access_compat.so
73 LoadModule actions_module modules/mod_actions.so
74 LoadModule alias_module modules/mod_alias.so
75 LoadModule allowmethods_module modules/mod_allowmethods.so
76 LoadModule asis_module modules/mod_asis.so
77 LoadModule auth_basic_module modules/mod_auth_basic.so
78 #LoadModule auth_digest_module modules/mod_auth_digest.so
```

#### 4.4 Guardar los cambios realizados en el archivo

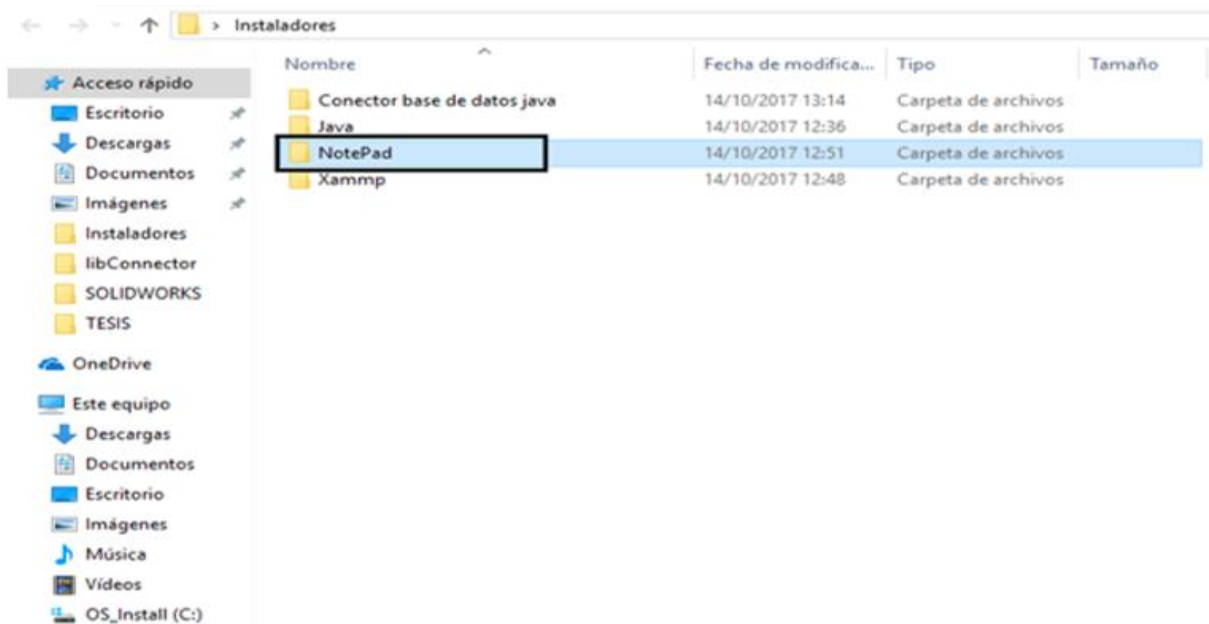
Una vez realizados todos los pasos indicados, se puede ejecutar XAMPP nuevamente y los módulos deberían inicializarse sin problemas.

### NOTEPAD++

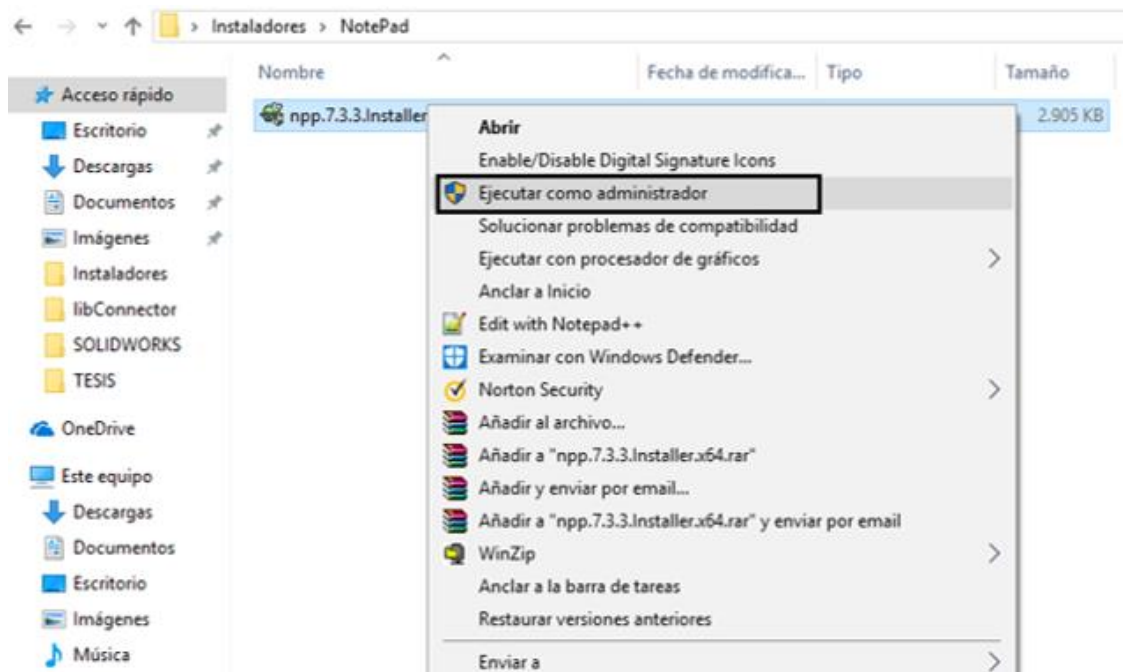
NOTEPAD++ es un editor de texto libre que permite visualizar el contenido en diferentes lenguajes de programación.

**Paso 1.** Buscar el instalador.

El instalador de NOTEPAD++ se encuentra adjunto a este documento, pero puede ser descargado del internet si es deseado.



**Paso 2.** Ejecutar el instalador como administrador.



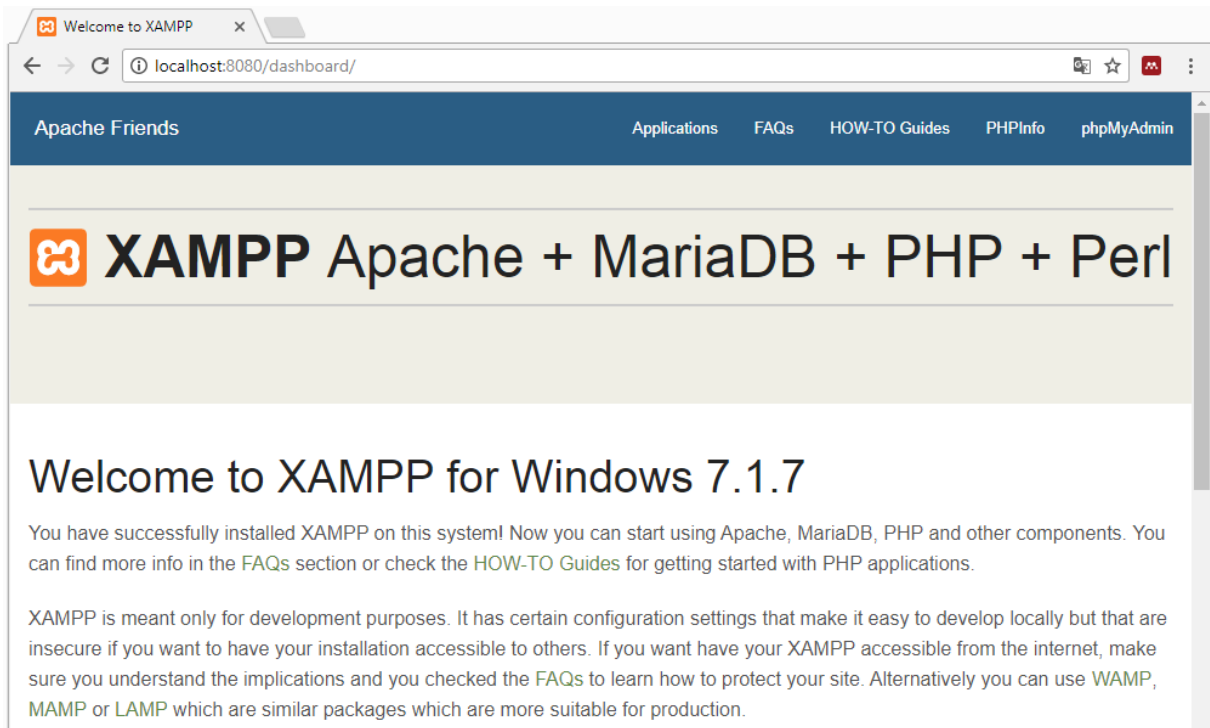
**Paso 3.** Aceptar la instalación y esperar a que termine.

## IMPORTACIÓN DE LAS TABLAS A LA BASE DE DATOS

NOTEPAD++ es un editor de texto libre que permite visualizar el contenido en diferentes lenguajes de programación.

**Paso 1:** Ingresar a la siguiente ruta con el navegador de Google Chrome.

localhost:8080



**Paso 2.** Ingresar a “phpMyAdmin”.

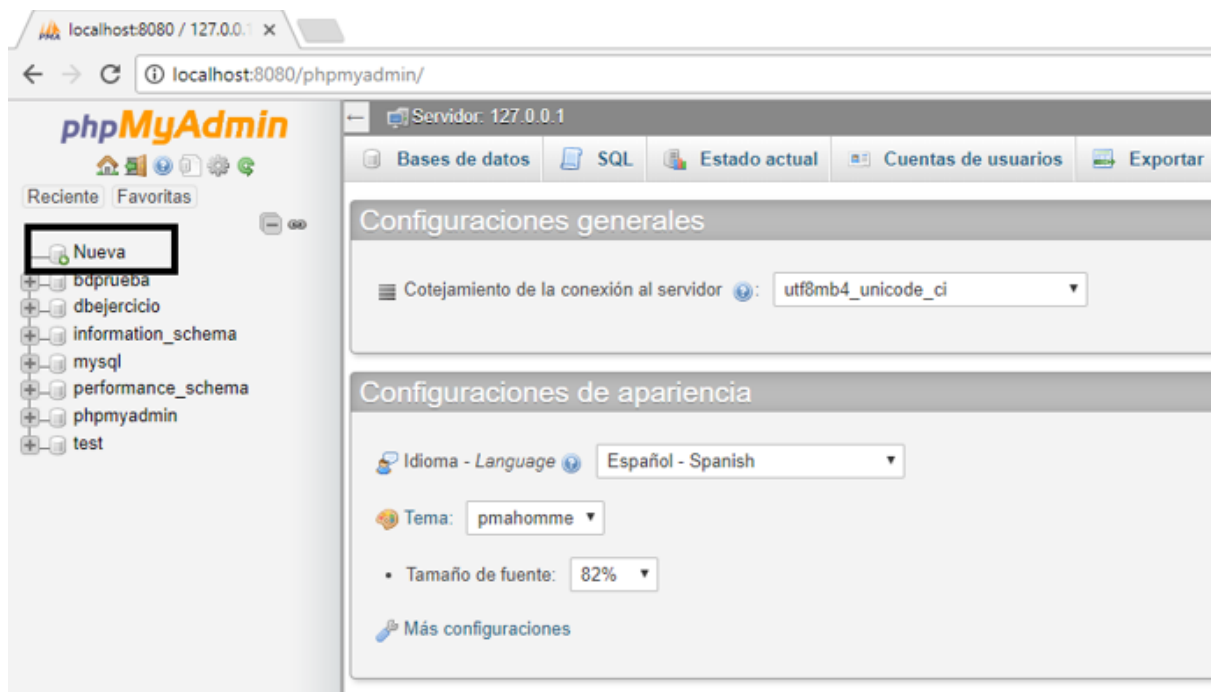


## Welcome to XAMPP for Windows 7.1.7

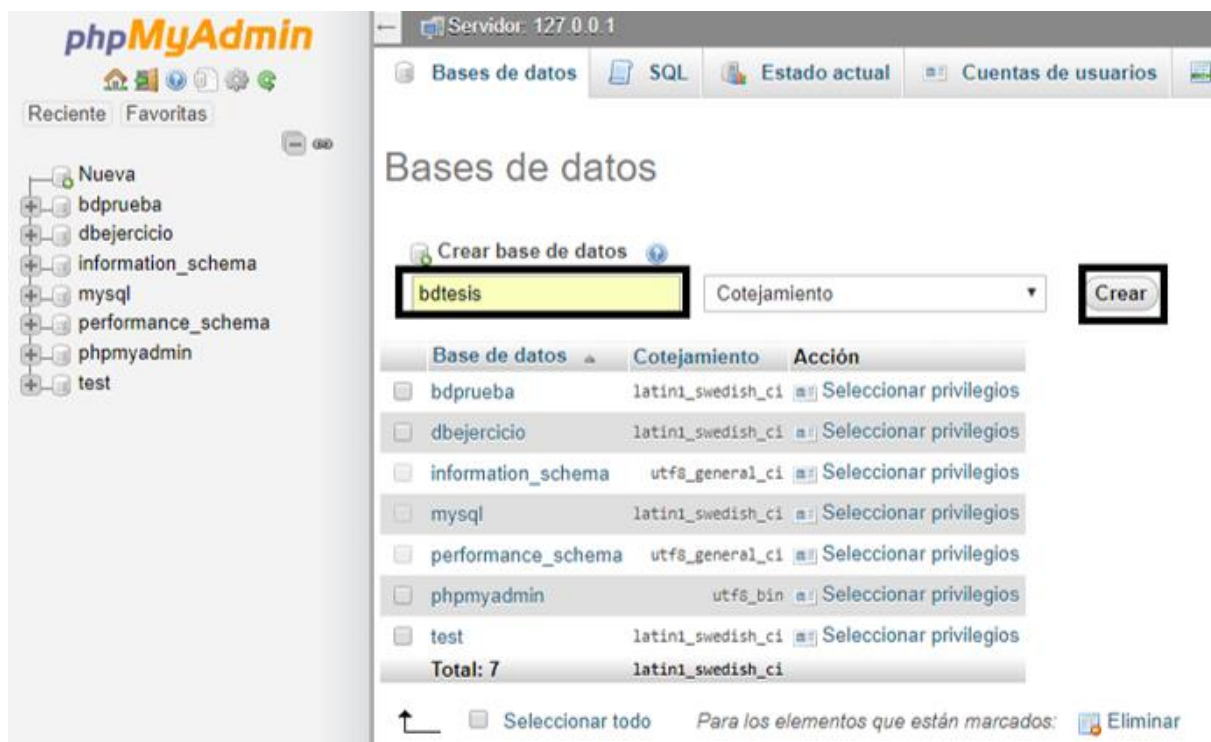
You have successfully installed XAMPP on this system! Now you can start using Apache, MariaDB, PHP and other components. You can find more info in the [FAQs](#) section or check the [HOW-TO Guides](#) for getting started with PHP applications.

XAMPP is meant only for development purposes. It has certain configuration settings that make it easy to develop locally but that are insecure if you want to have your installation accessible to others. If you want have your XAMPP accessible from the internet, make sure you understand the implications and you checked the [FAQs](#) to learn how to protect your site. Alternatively you can use [WAMP](#), [MAMP](#) or [LAMP](#) which are similar packages which are more suitable for production.

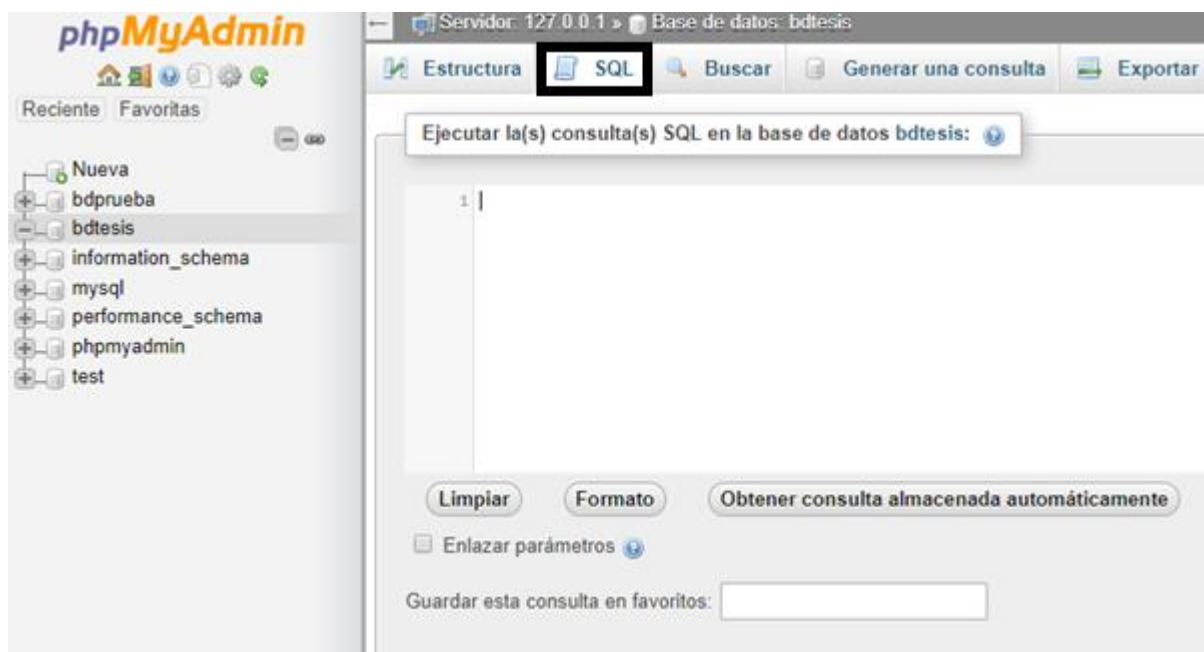
**Paso 3.** Dar clic en “Nueva” para crear una base de datos.



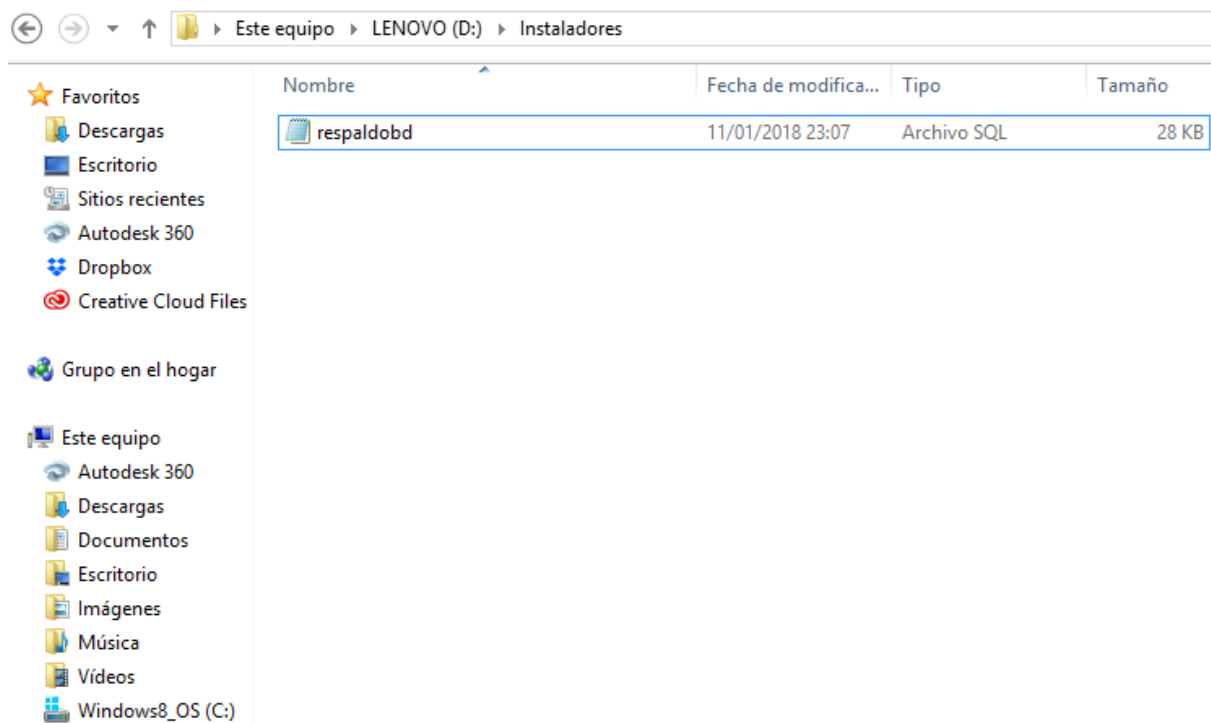
**Paso 4.** Crear la base de datos con el nombre “bdtesis”.



**Paso 5.** Dar clic en SQL.

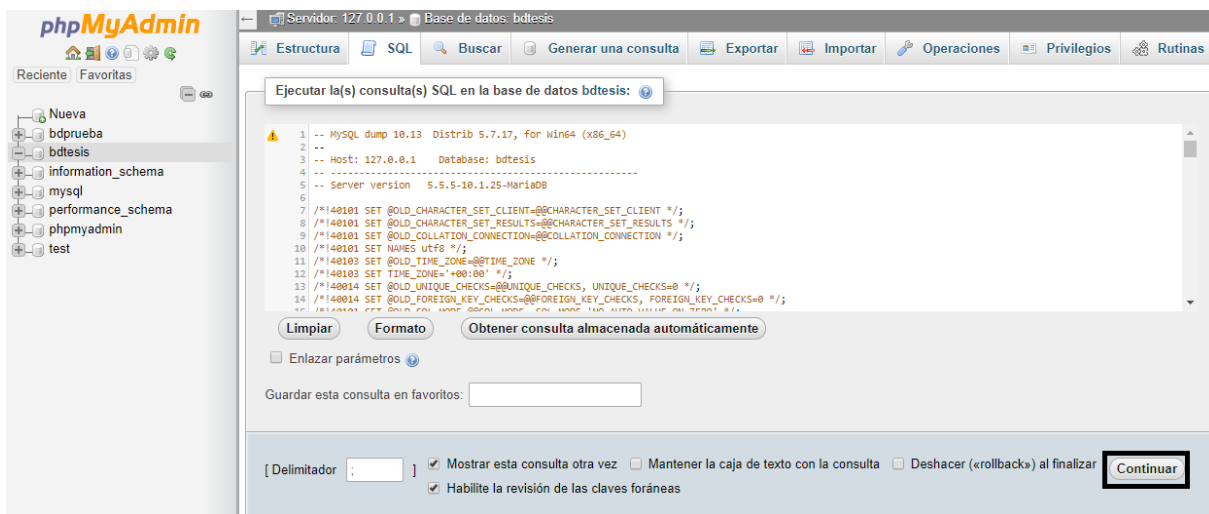


**Paso 6.** Buscar el documento “respaldobd” en la carpeta adjunta a este documento.

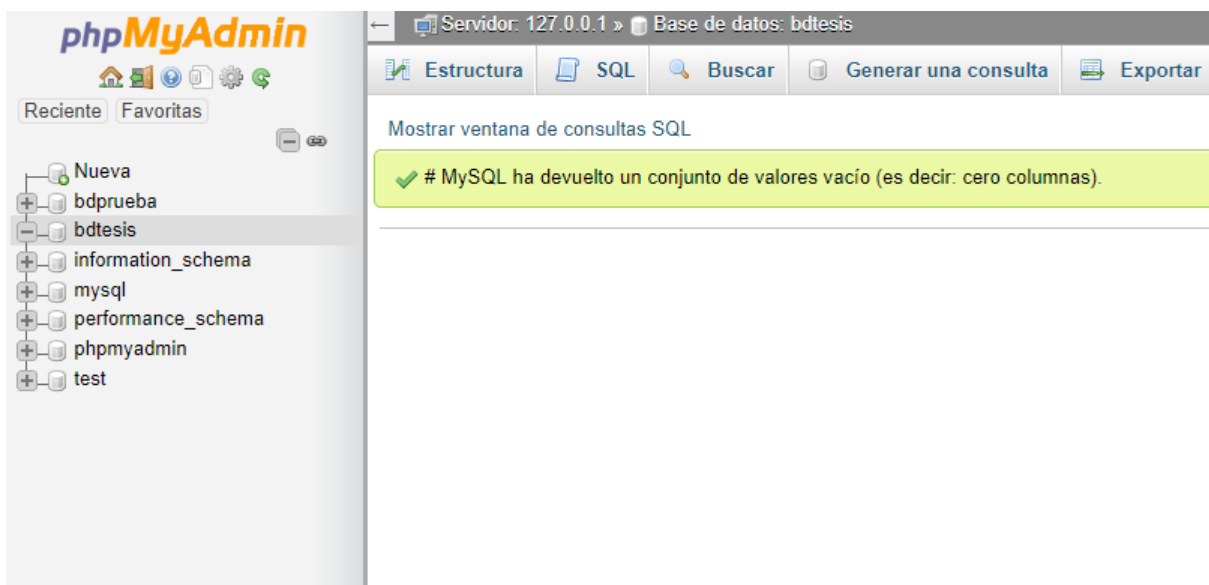




**Paso 6.** Copiar el contenido del documento en la página abierta anteriormente y dar clic en “Continuar”.



Si las tablas fueron importadas correctamente a la base de datos, aparecerá el siguiente mensaje.



## Anexo 15: Código de programación.

### Geometría de la viga principal

```
private Double d; private Double b; private Double c; private Double tai;
private Double tas; private Double tw; private Double densidad; private
Double L;

public AnalysisGeometricProperties(Double d, Double b, Double c, Double
tai, Double tas, Double tw, Double densidad, Double L) {
    this.d = d;
    this.b = b;
    this.c = c;
    this.tai = tai;
    this.tas = tas;
    this.tw = tw;
    this.densidad = densidad;
    this.L = L;
}

public Double Area(){
    A_fi=tai*b_T;
    A_fs=tas*b_T;
    Aw=h*tw;

    return A_fi+A_fs+(2*Aw);
}

public Double EjeNeutroX(){
    Double x = (((tai+tas)*(Math.pow(b_T, 2)))/2)+(Aw*b_T)/Area();
    return x;
}

public Double EjeNeutroY(){
    Double y = ((A_fi*tai/2)+(2*Aw*(tai+(h/2)))+(A_fs*(d-
(tas/2))))/Area();
    return y;
}

public Double Ixx(){
    Double y_tai_2 = EjeNeutroY()-(tai/2);
    Double y_tai_hw_2 = EjeNeutroY()-(tai+(h/2));
    Double y_d_tas_2 = EjeNeutroY()-(d-(tas/2));
    Double Ix = ((b_T*(Math.pow(tai, 3)+Math.pow(tas,
3))/12)+(A_fi*Math.pow(y_tai_2, 2))+tw/6*Math.pow(h,
3)+(2*Aw*Math.pow(y_tai_hw_2, 2)+(A_fs*Math.pow(y_d_tas_2, 2)));
    return Ix;
}

public Double Iyy(){
    Double x_bT_2 = EjeNeutroX()-(b_T/2);
    Double x_c_tw_2 = EjeNeutroX()-c-(tw/2);
    Double x_b_2tw_c_tw_2 = EjeNeutroX()-(b+(2*tw)+c-(tw/2));
    Double Iy = (((tai+tas)/12*Math.pow(b_T,
3))+((A_fi+A_fs)*Math.pow(x_bT_2, 2))+(h/6*Math.pow(tw,
3)+(Aw*(Math.pow(x_c_tw_2, 2)+Math.pow(x_b_2tw_c_tw_2, 2))));
```

```

        return Iy;
    }

    public Double rxx(){
        Double I_A = Ixx()/Area();
        Double rx = Math.pow(I_A, 0.5);
        return rx;
    }

    public Double ryy(){
        Double I_A = Iyy()/Area();
        Double rx = Math.pow(I_A, 0.5);
        return rx;
    }

    public Double RigidezTorsional(){
        Double Kt = (((2*b_T*Math.pow(tai, 3))+(2*h*Math.pow(tw, 3)))/3);
        return Kt;
    }

    public Double Peso(){
        Double Wb = Area()*L*densidad;
        return Wb;
    }

    public Double CargaDistribuida(){
        return Peso()/L;
    }

    public Double MedidaResistenciaTorsional(){
        Double If = b_T*Math.pow(tai, 3)/12;
        return If*Math.pow((h+tai), 2)/2;
    }
}

```

### Análisis de fuerzas en el plano x-y en viga principal tipo monorriel

```

private Double P; private Double q;

    public AnalysisSingleGirderLoads(Double P, Double q) {
        this.P = P;
        this.q = q;
    }

    public Double Deflection(){
        return ((P*Math.pow(L_cm, 3)/48/E/Ix)+(5*q*Math.pow(L_cm,
4)/384/E/Ix))*10;
    }

    //SHEAR FORCES
    public Double ShearForceA(){
        Double x=0.0;
        return P/2 + Math.abs(q*(x-(L_cm/2)));
    }

    public Double ShearForceC(){

```

```

        Double x = L_cm/2;
        return P/2 + Math.abs(q*(x-(L_cm/2)));
    }

    //MOMENTUM
    public Double MomentumC(){
        Double x= L_cm/2;
        Double xi = 0.0;
        //of P
        if (L_cm/2<x && x<=L_cm){
            xi=L_cm-x;
        } else if(0<x && x<=L_cm/2){
            xi=x;
        }
        Double Mp = 0 + (xi-0)/((L_cm/2)-0)*((P*L_cm/4)-0);
        //of q
        Double Mq = q*(L_cm*x-Math.pow(x, 2))/2;

        return Math.abs(Mp) + Math.abs(Mq);
    }

    //SHEAR STRESS
    public Double ShearStress4A(){
        Double A_fs = tas*b_T;
        Double Q4 = A_fs*(d-NAy-tas/2);
        return (ShearForceA()*Q4)/(Ix*b_T);
    }

    public Double ShearStress4Ai(){
        Double A_fs = tas*b_T;
        Double Q4 = A_fs*(d-NAy-tas/2);
        return (ShearForceA()*Q4)/(Ix*2*tw);
    }

    public Double ShearStress3A(){
        Double A_fi=tai*b_T;
        Double Q3 = ((NAy-tai)*(2*tw))*(NAy-tai)/2+A_fi*(NAy-tai/2);
        return (ShearForceA()*Q3)/(Ix*2*tw);
    }

    public Double ShearStress2Ai(){
        Double A_fi=tai*b_T;
        Double Q2 = A_fi*(NAy-tai/2);
        return (ShearForceA()*Q2)/(Ix*2*tw);
    }

    public Double ShearStress2A(){
        Double A_fi=tai*b_T;
        Double Q2 = A_fi*(NAy-tai/2);
        return (ShearForceA()*Q2)/(Ix*b_T);
    }

    public Double ShearStress4C(){
        Double A_fs = tas*b_T;
        Double Q4 = A_fs*(d-NAy-tas/2);
        return (ShearForceC()*Q4)/(Ix*b_T);
    }

```

```

public Double ShearStress4Ci() {
    Double A_fs = tas*b_T;
    Double Q4 = A_fs*(d-NAy-tas/2);
    return (ShearForceC()*Q4)/(Ix*2*tw);
}

public Double ShearStress3C() {
    Double A_fi=tai*b_T;
    Double Q3 = ((NAy-tai)*(2*tw))*(NAy-tai)/2+A_fi*(NAy-tai/2);
    return (ShearForceC()*Q3)/(Ix*2*tw);
}

public Double ShearStress2Ci() {
    Double A_fi=tai*b_T;
    Double Q2 = A_fi*(NAy-tai/2);
    return (ShearForceC()*Q2)/(Ix*2*tw);
}

public Double ShearStress2C() {
    Double A_fi=tai*b_T;
    Double Q2 = A_fi*(NAy-tai/2);
    return (ShearForceC()*Q2)/(Ix*b_T);
}

//NORMAL STRESSES
public Double NormalStress0C() {
    return MomentumC()*NAy/Ix;
}

public Double NormalStress2C() {
    Double C = NAy-tai;
    return MomentumC()*C/Ix;
}

public Double NormalStress4C() {
    Double C = d-NAy-tas;
    Double fb= MomentumC()*C/Ix;
    return fb;
}

public Double NormalStress5C() {
    Double C = d-NAy;
    return MomentumC()*C/Ix;
}

public Double VonMises4Ai() {
    Double ins = Math.pow(0.0, 2)+(3*Math.pow(ShearStress4Ai(), 2));
    return Math.pow(ins, 0.5);
}

public Double VonMises3A() {
    Double ins = Math.pow(0.0, 2)+(3*Math.pow(ShearStress3A(), 2));
    return Math.pow(ins, 0.5);
}

public Double VonMises5C() {

```

```

        Double ins = Math.pow(NormalStress5C(), 2)+(3*Math.pow(0.0, 2));
        return Math.pow(ins, 0.5);
    }

    public Double VonMises4Ci(){
        Double ins = Math.pow(NormalStress4C(),
2)+(3*Math.pow(ShearStress4Ci(), 2));
        return Math.pow(ins, 0.5);
    }

    public Double VonMises2Ci(){
        Double ins = Math.pow(NormalStress2C(),
2)+(3*Math.pow(ShearStress2Ci(), 2));
        return Math.pow(ins, 0.5);
    }

    public Double VonMises0C(){
        Double ins = Math.pow(NormalStress0C(), 2)+(3*Math.pow(0.0, 2));
        return Math.pow(ins, 0.5);
    }
}

```

#### Análisis de fuerzas en el plano x-z en viga principal tipo monorriel y birriel.

```

private Double Px; private Double Pz; private Double qz;

public AnalysisSingleGirderLoadsZ(Double Px, Double Pz, Double qz) {
    this.Px = Px;
    this.Pz = Pz;
    this.qz = qz;
}

//Methods
//SHEAR FORCES
public Double ShearForceA(){
    Double x = 0.0;
    return Pz/2 + Math.abs(qz*(x-(L_cm/2)));
}

public Double ShearForceC(){
    Double x = L_cm/2;
    return Pz/2 + Math.abs(qz*(x-(L_cm/2)));
}

//MOMENTUM
public Double MomentumC(){
    Double x= L_cm/2;

    //of q
    Double Mq = qz*(L_cm*x-Math.pow(x, 2))/2;

    //of P
    if (L_cm/2<x && x<=L_cm){
        x = L_cm-x;
    }
    Double Mp = 0 + (x-0)/((L_cm/2)-0)*((Pz*L_cm/4)-0);
}

```

```

        return Mp + Math.abs(Mq);
    }

    // Q for shear stress
    public Double Q(){
        return c*(tai+tas)*((b/2)+(c/2)+tw);
    }

    //SHEAR STRESSES
    public Double ShearStressA(){
        return (ShearForceA()*Q())/(Iy*(tai+tas));
    }

    public Double ShearStressC(){
        return (ShearForceC()*Q())/(Iy*(tai+tas));
    }

    //NORMAL DEFLECTION STRESS
    public Double NormalStressC() {
        return MomentumC()*((b/2)+tw)/Iy;
    }

    //NORMAL AXIAL STRESS
    public Double NormalStress(){
        return Px/Atotal;
    }

```

### Análisis de fuerzas en el plano x-z en viga principal tipo birriel

```

private Double P; private Double q;

    public AnalisisDoubleGirderLoads(Double P, Double q) {
        this.P = P;
        this.q = q;
    }

    private Double a1_cm = 0.0; private Double a2_cm = 0.0; private Double
A_fi = 0.0; private Double Xmed=0.0; private Double Xmax=0.0;

    //Méthods
    public Double Reaccion1 () {
        a1_cm = a1/10;
        a2_cm = a2/10;
        A_fi=tai*b_T;
        return (a2_cm*P)/(a1_cm+a2_cm);
    }

    public Double Reaccion2 () {
        a1_cm = a1/10;
        a2_cm = a2/10;
        return (a1_cm*P)/(a1_cm+a2_cm);
    }

    public Double DistanciaCritica () {

```

```

        return ((1-(WBtr/L_cm))*Reaccion1()+(1-
(2*WBtr/L_cm))*Reaccion2())*L_cm/(2*(Reaccion1()+Reaccion2()));
    }

    public Double ReaccionA() {
        return Reaccion1()+Reaccion2()-
((Reaccion1()*DistanciaCritica()+Reaccion2()*(DistanciaCritica()+WBtr))/L_c
m);
    }

    public Double Constantel () {
        Double L_Xc = L_cm-DistanciaCritica();
        Double L_Xc_WB = L_cm-DistanciaCritica()-WBtr;
        return -ReaccionA()*Math.pow(L_cm, 2)/6+Reaccion1()*Math.pow(L_Xc,
3)/(6*L_cm)+Reaccion2()*Math.pow(L_Xc_WB, 3)/(6*L_cm);
    }

    public Double PtoDeflexionMedio() {
        Double x = Math.round(DistanciaCritica()*1.0;
        Double xc_WB = Math.round(DistanciaCritica()+WBtr)*1.0;
        Double Ymax = 0.0;

        while (x<xc_WB){
            Double x_xc = x-DistanciaCritica();
            Double x_xc_WB = x-DistanciaCritica()-WBtr;

            Double y = -(ReaccionA()*Math.pow(x, 3)/6+Constantel()*x-
Reaccion1()*Math.pow(x_xc, 3)/6-Reaccion2()*Math.pow(x_xc_WB,
3)/6)*10/(E*Ix);

            if(y>Ymax){
                Ymax=y;
                Xmed=x;
            }

            x++;
        }

        return Xmed;
    }

    public Double PtoDeflexionMax(){
        Double x = PtoDeflexionMedio()-2;
        Double top = PtoDeflexionMedio()+2;
        Double Ymax = 0.0;

        while (x<top){
            Double x_xc = x-DistanciaCritica();
            Double x_xc_WB = x-DistanciaCritica()-WBtr;

            Double y = -(ReaccionA()*Math.pow(x, 3)/6+Constantel()*x-
Reaccion1()*Math.pow(x_xc, 3)/6-Reaccion2()*Math.pow(x_xc_WB,
3)/6)*10/(E*Ix);

            if(y>Ymax){
                Ymax=y;

```



```

        Xmax=x;
    }

    x=x+0.1;
}

return Xmax;
}

public Double DeflexionPorPeso() {
    Double x = PtoDeflexionMax();
    return -(q*((L_cm*Math.pow(x, 3)/12)-(Math.pow(x, 4)/24)-
(Math.pow(L_cm, 3)*x/24)))*10/(E*Ix);
}

public Double DeflexionPorCargas() {
    Double x = PtoDeflexionMax();
    Double x_xc = x-DistanciaCritica();
    Double x_xc_WB = x-DistanciaCritica()-WBtr;
    return -(ReaccionA()*Math.pow(x, 3)/6+Constantel()*x-
Reaccion1()*Math.pow(x_xc, 3)/6-Reaccion2()*Math.pow(x_xc_WB,
3)/6)*10/(E*Ix);
}

public Double DeflexionMaxima() {
    System.out.println("dc= "+DeflexionPorCargas()+" dp=
"+DeflexionPorPeso()+" xdef= "+PtoDeflexionMax());
    return DeflexionPorCargas()+DeflexionPorPeso();
}

// Q for shear stress
public Double Q_2(){
    return A_fi*(Nay-tai/2);
}

public Double Q_3(){
    return ((Nay-tai)*(2*tw))*(Nay-tai)/2+A_fi*(Nay-tai/2);
}

public Double ShearForceA() {
    return q*L_cm/2+Reaccion1()+Reaccion2()-
((Reaccion1()*DistanciaCritica()+Reaccion2()*(DistanciaCritica()+WBtr))/L_c
m);
}

public Double ShearStress2A(){
    return (ShearForceA()*Q_2())/(Ix*2*tw);
}

public Double ShearStress2A_f(){
    return (ShearForceA()*Q_2())/(Ix*b_T);
}

public Double ShearStress3A(){
    return (ShearForceA()*Q_3())/(Ix*2*tw);
}

```

```

    public Double ShearForceD() {
        Double xD = DistanciaCritica()+WBtr;
        return q*(xD-
L_cm/2)+((Reaccion1()*DistanciaCritica()+Reaccion2()*(DistanciaCritica()+WB
tr))/L_cm);
    }

    public Double ShearStress2D(){
        return (ShearForceD()*Q_2())/ (Ix*2*tw);
    }

    public Double ShearStress2D_f(){
        return (ShearForceD()*Q_2())/ (Ix*b_T);
    }

    public Double ShearStress3D(){
        return (ShearForceD()*Q_3())/ (Ix*2*tw);
    }

    public Double MomentoMaximo() {
        Double xD = DistanciaCritica()+WBtr;
        return q*(L_cm*xD-Math.pow(xD, 2))/2 + ( -
Math.pow(DistanciaCritica(),
2)*((Reaccion1()+Reaccion2())/L_cm)+DistanciaCritica()*(Reaccion1()*(1-
WBtr/L_cm)+Reaccion2()*(1-2*WBtr/L_cm))+Reaccion2()*(WBtr-(Math.pow(WBtr,
2)/L_cm)) );
    }

    public Double NormalStress0() {
        return MomentoMaximo()*NAy/Ix;
    }

    public Double NormalStress2() {
        return MomentoMaximo()*(NAy-tai)/Ix;
    }

```

### Análisis de torsión en vigas tipo birriel

```

private Double P; private Double xc;

    public AnalysisTorsion(Double P, Double xc) {
        this.P = P;
        this.xc = xc;
    }

    private Double xD; private Double Kb; private Double a = 0.0; private
Double alfa; private Double beta; private Double TL_GKt; private Double
a_L; private Double L_a; private Double BeL_a; private Double Al_L_a;
private Double sinh_beta; private Double sinh_alfa; private Double sinh_L;
private Double tanh_L; private Double sinh_beta_sinh_L; private Double
sinh_alfa_sinh_L; private Double TL_GKt__a_L__div; private Double
TL_GKt__a_L__div2; private Double xD_a = 0.0;

    public Double Torsion(){
        Double If = b_T*Math.pow(tai, 3)/12;

```

```

        Kb = If*Math.pow((h+tai), 2)/2;
        Double in = (E*Kb)/(G*Kt);
        a=Math.pow(in, 0.5);
        Double a1_cm = a/10;
        alfa=(xc+a1_cm)/L_cm;
        beta=1-alfa;
        xD= xc+((a1+a2)/10);

        System.out.println("a1= "+a1+"  a1_cm= "+a1_cm+"  xc= "+xc+"  If=
"+If+"  Kb= "+Kb+"  a= "+a+"  alfa= "+alfa+"  Beta= "+beta+"  xD= "+xD);

        return P*(b+tw)/2;
    }

    public Double AnguloTorsión_Ai() {
        TL_GKt = (Torsion()*L_cm)/(G*Kt);
        a_L = a/L_cm;
        L_a = L_cm/a;
        BeL_a = beta*L_cm/a;
        sinh_beta = Math.sinh(BeL_a);
        sinh_L = Math.sinh(L_a);
        sinh_beta_sinh_L = -sinh_beta/sinh_L;
        TL_GKt__a_L__div = TL_GKt*a_L*sinh_beta_sinh_L;

        Double x = 0.0;
        Double x_a = x/a;

        System.out.println("TL_GKt= "+TL_GKt+"  a_L= "+a_L+"  L_a="+L_a+"
BeL_a= "+BeL_a+"  sinh_beta= "+sinh_beta+"  sinh_L= "+sinh_L+"
sinh_beta_sinh_L= "+sinh_beta_sinh_L+"  TL_GKt__a_L__div=
"+TL_GKt__a_L__div);

        Double Ai = TL_GKt__a_L__div/a*Math.cosh(x_a)+beta*TL_GKt/L_cm;
        return Ai;
    }

    public Double AnguloTorsión_Aii() {
        Double x = 0.0;
        Double x_a = x/a;

        Double Aii = TL_GKt__a_L__div/Math.pow(a, 2)*Math.sinh(x_a);
        return Aii;
    }

    public Double AnguloTorsión_Aiii() {
        Double x = 0.0;
        Double x_a = x/a;

        Double Aiii = TL_GKt__a_L__div/Math.pow(a, 3)*Math.cosh(x_a);
        return Aiii;
    }

    public Double CortanteTorsionalA_f() {
        Double fv = G*tai*AnguloTorsión_Ai();
        return fv;
    }
}

```

```

public Double CortanteTorsionalA_w() {
    Double fv = G*2*tw*AnguloTorsión_Ai();
    return fv;
}

public Double CortanteAlabeamientoA_f() {
    Double fv = E*Math.pow(b_T, 2)*d*AnguloTorsión_Aiii()/16;
    return fv;
}

public Double AnguloTorsión_Di() {
    xD_a = xD/a;

    Double Di = -(alfa*TL_GKt/L_cm);
    return Di;
}

public Double AnguloTorsión_Dii() {
    Al_L_a = alfa*L_cm/a;
    sinh_alfa = Math.sinh(Al_L_a);
    tanh_L = Math.tanh(L_a);
    sinh_alfa_sinh_L = sinh_alfa/tanh_L;
    TL_GKt__a_L__div2 = TL_GKt*a_L*sinh_alfa_sinh_L;

    Double Dii = (TL_GKt__a_L__div2/Math.pow(a, 2)*Math.sinh(xD_a)-
sinh_alfa*TL_GKt*Math.cosh(xD_a)/L_cm/a)*0;
    return Dii;
}

public Double AnguloTorsión_Diii() {
    Double Diii = ((TL_GKt__a_L__div2/Math.pow(a, 3)*Math.cosh(xD_a))-
(sinh_alfa*TL_GKt*Math.sinh(xD_a)/L_cm/Math.pow(a, 2)))*0;
    return Diii;
}

public Double CortanteTorsionalD_f() {
    Double fv = G*tai*AnguloTorsión_Di();
    return fv;
}

public Double CortanteTorsionalD_w() {
    Double fv = G*2*tw*AnguloTorsión_Di();
    return fv;
}

public Double CortanteAlabeamientoD_f() {
    Double fv = E*Math.pow(b_T, 2)*d*AnguloTorsión_Diii()/16;
    return fv;
}

public Double EsfuerzoNormalAlabeamientoD_f() {
    Double fb = E*b_T*d*AnguloTorsión_Dii()/4;
    return fb;
}

```

## Análisis de pandeo local en el alma

```
private Integer C; private Double S2; private Double S4; private Double
TauW; private Double alfa;

public AnalysisLocalBucklingWeb(Integer C, Double S2, Double S4, Double
TauW, Double alfa) {
    this.C = C;
    this.S2 = S2;
    this.S4 = S4;
    this.TauW = TauW;
    this.alfa = alfa;
}

public Double Tr(){
    Double Tr = 0.0;
    if (Objects.equals(S2, S4)){
        Tr = -1.0;
    }else{
        Tr = -S2/S4;
    }

    return Tr;
}

public Double CoeficientePandeoCompresion(){
    Double Ksigma = 0.0;
    if (Objects.equals(S2, S4)) {
        if (alfa >= 2 / 3) {
            Ksigma = 23.9;
        } else if (alfa < 2 / 3) {
            Ksigma = 15.87 + (1.87 / Math.pow(alfa, 2)) + 8.6 *
Math.pow(alfa, 2);
        }
    } else {
    }

    return Ksigma;
}

public Double CoeficientePandeoCorte(){
    Double Ktau = 0.0;
    if(alfa>=1){
        Ktau= 5.34+(4/Math.pow(alfa, 2));
    } else if (alfa<1){
        Ktau= 4.00+(5.34/Math.pow(alfa, 2));
    }
    return Ktau;
}

public Double EsfuerzoEuler(){
    return 26.21*Math.pow(10, 6)*Math.pow((tw/h), 2);
}

public Double EsfuerzoCriticoCompresion(){
    return CoeficientePandeoCompresion()*EsfuerzoEuler();
}
```

```

public Double EsfuerzoCriticoCorte(){
    return CoeficientePandeoCorte()*EsfuerzoEuler();
}

public Double LimiteProporcional(){
    return Sy_kgcm/1.32;
}

public Double EsfuerzoCritico(){
    Double Smax= Math.max(S2, S4);

    Double numerator = Math.pow((Math.pow(Smax, 2)+(3*Math.pow(TauW,
2))), 0.5);
    Double denominator =
(1+Tr())*Smax/4/EsfuerzoCriticoCompresion()+(Math.pow((Math.pow((3-
Tr())*Smax/4/EsfuerzoCriticoCompresion()),
2)+Math.pow((TauW/EsfuerzoCriticoCorte()), 2)), 0.5));
    return numerator/denominator;
}

public Double EsfuerzoCriticoReducido(){
    return (Sy_kgcm*Math.pow(EsfuerzoCritico(),
2))/((0.1836*Math.pow(Sy_kgcm, 2))+Math.pow(EsfuerzoCritico(), 2));
}

public Double FactorSeguridad(){
    Double S1=0.0;
    if(EsfuerzoCritico()<LimiteProporcional()){
        S1=EsfuerzoCritico();
    } else{
        S1=EsfuerzoCriticoReducido();
    }

    Double Smax= Math.max(S2, S4);

    Double ins = Math.pow(Smax, 2)+(3*Math.pow(TauW, 2));
    return S1/Math.pow(ins, 0.5);
}

public Double FactorDiseno(){
    Double DFB= 0.0;
    if(null!=C)switch (C) {
        case 1:
            DFB = 1.7+0.175*(Tr()-1);
            break;
        case 2:
            DFB = 1.5+0.125*(Tr()-1);
            break;
        case 3:
            DFB = 1.35+0.05*(Tr()-1);
            break;
        default:
            break;
    }
    return DFB;
}

```

## Análisis de pandeo local en el patín superior

```
private Integer C; private Double S4; private Double S5; private Double
TauF; private Double alfaF;

public AnalysisLocalBucklingFlange(Integer C, Double S4, Double S5,
Double TauF, Double alfaF) {
    this.C = C;
    this.S4 = S4;
    this.S5 = S5;
    this.TauF = TauF;
    this.alfaF = alfaF;
}

public Double Tr(){
    return S4/S5;
}

public Double CoeficientePandeoCompresion(){
    Double Ksigma = 0.0;
    if (alfaF >= 1) {
        Ksigma = 8.4/(Tr()+1.1);
    } else if (alfaF < 1) {
        Ksigma = Math.pow((alfaF+(1/alfaF)), 2)*(2.1/(Tr()+1.1));
    }
    return Ksigma;
}

public Double CoeficientePandeoCorte(){
    Double Ktau = 0.0;
    if(alfaF>=1){
        Ktau= 5.34+(4/Math.pow(alfaF, 2));
    } else if (alfaF<1){
        Ktau= 4.00+(5.34/Math.pow(alfaF, 2));
    }
    return Ktau;
}

public Double EsfuerzoEuler(){
    return 26.21*Math.pow(10, 6)*Math.pow((tas/b), 2);
}

public Double EsfuerzoCriticoCompresion(){
    return CoeficientePandeoCompresion()*EsfuerzoEuler();
}

public Double EsfuerzoCriticoCorte(){
    return CoeficientePandeoCorte()*EsfuerzoEuler();
}

public Double LimiteProporcional(){
    return Sy_kgcm/1.32;
}

public Double EsfuerzoCritico(){
    Double numerator = Math.pow((Math.pow(S5, 2)+(3*Math.pow(TauF,
2))), 0.5);
```

```

        Double denominator =
(1+Tr())*S5/4/EsfuerzoCriticoCompresion()+(Math.pow((Math.pow(((3-
Tr())*S5/4/EsfuerzoCriticoCompresion()),
2)+Math.pow((TauF/EsfuerzoCriticoCorte()), 2)), 0.5));
        return numerator/denominator;
    }

    public Double EsfuerzoCriticoReducido(){
        return (Sy_kgcm*Math.pow(EsfuerzoCritico(),
2))/((0.1836*Math.pow(Sy_kgcm, 2))+Math.pow(EsfuerzoCritico(), 2));
    }

    public Double FactorDiseno(){
        Double DFB= 0.0;
        if(null!=C)switch (C) {
            case 1:
                DFB = 1.7+0.175*(Tr()-1);
                break;
            case 2:
                DFB = 1.5+0.125*(Tr()-1);
                break;
            case 3:
                DFB = 1.35+0.05*(Tr()-1);
                break;
            default:
                break;
        }
        return DFB;
    }

    public Double FactorSeguridad(){
        Double S1=0.0;
        if(EsfuerzoCritico()<LimiteProporcional()){
            S1=EsfuerzoCritico();
        } else{
            S1=EsfuerzoCriticoReducido();
        }

        Double ins = Math.pow(S5, 2)+(3*Math.pow(TauF, 2));
        return S1/Math.pow(ins, 0.5);
    }
}

```

## Actualización de base de datos

```

Integer NumeroDePestaña = 1;
//
Integer a = 0; Integer b = 0; Integer c = 0; Integer d = 0;

DefaultTableModel modelMotorUpdater;
String columnasMotores[] = {"Modelo", "Pot. [HP]", "Pot. [kW]", "Vel.
[rpm]", "e [%]", "i (220V) [A]", "i (440V) [A]"};

DefaultTableModel modelReductoresUpdater;

```



```

        String columnasReductores[] = {"Modelo", "Velocidad [RPM]", "Mn2", "I",
        "Pn1", "Eficiencia"};

        DefaultTableModel modelPolipastoUpdater;
        String columnasPolipastos[] = {"Modelo", "Capacidad", "Clase", "Altura
        izaje", "VelIzaje maxima", "Vel trolley", "Peso Low", "Rango de sujecion",
        "Ancho rueda Low", "Peso Normal HR", "Ancho rueda Normal", "Peso Double
        Girder", "a1", "a2"};

        DefaultTableModel modelTesteroUpdater;
        String columnasTesteros[] = {"Modelo", "Ancho rodadura", "Diametro
        rueda", "Distancia entre Ruedas", "Peso", "Single Girder", "Double
        Girder"};

        Dimension screenSize = Toolkit.getDefaultToolkit().getScreenSize();

        public FormDataUpdater1() {

            modelMotorUpdater = new DefaultTableModel(null, columnasMotores);
            modelReductoresUpdater = new DefaultTableModel(null,
            columnasReductores);
            modelPolipastoUpdater = new DefaultTableModel(null,
            columnasPolipastos);
            modelTesteroUpdater = new DefaultTableModel(null,
            columnasTesteros);

            initComponents();

            Integer wi = (int) screenSize.getWidth();
            Integer he = (int) screenSize.getHeight() - 40;
            this.resize(wi, he);
            this.setLocationRelativeTo(null);

            CargarTablaMotores();
            CargarTablaPolipastos();
            CargarTablaReductores();
            CargarTablaTesteros();
        }

        public Connection conexion() {
            Connection con = null;
            try {
                String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
                String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";
                Class.forName(sDriver).newInstance();
                con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
                "");

                //System.out.println("Conectado");
            } catch (ClassNotFoundException ex) {

                Logger.getLogger(SelectionGearMotor.class.getName()).log(Level.SEVERE,
                null, ex);
            } catch (InstantiationException ex) {

                Logger.getLogger(SelectionGearMotor.class.getName()).log(Level.SEVERE,
                null, ex);
            } catch (IllegalAccessException ex) {

```

```

Logger.getLogger(SelectionGearMotor.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(SelectionGearMotor.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }
    return con;
}

public void BorrarPolipastos() {

}

public void BuscarPolipastos() {

    String modelo = txtmodeloPolipasto.getText();

    try {
        // TODO add your handling code here:
        String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

        Connection con = null;
        Class.forName(sDriver).newInstance();
        con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
        "");

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT Capacidad, Clase,
AlturaIzaje, VIZajeMax, Vtrolley, PesoLowHR, RangoSujecion, AnchoRuedaLow,
PesoNormalHR, AnchoRuedaNormal, PesoDoubleGirder, a1, a2 FROM polipastos
where Modelo = '" + modelo + "'");
        while (rs.next()) {

            txtcapacidadPolipasto.setText(rs.getString(1));
            txtclasepolipasto.setText(rs.getString(2));
            txtAlturaIzajePolipasto.setText(rs.getString(3));
            txtVelIzaMaxPolipasto.setText(rs.getString(4));
            txtVelTrolleyPolipasto.setText(rs.getString(5));
            txtPesolowPolipasto.setText(rs.getString(6));
            txtRangosujecionPolipasto.setText(rs.getString(7));
            txtAnchoruedaLowPolipasto.setText(rs.getString(8));
            txtPesoNormalPolipasto.setText(rs.getString(9));
            txtAnchoRuedaNormalPolipasto.setText(rs.getString(10));
            txtPesoDoublePolipasto.setText(rs.getString(11));
            txta1Polipasto.setText(rs.getString(12));
            txta2Polipasto.setText(rs.getString(13));

        }

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

```

```

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

}

public void ActualizarPolipastos() {
    VaciarTablaPolipastos();
    Integer id = 0;
    String modeloPolipasto = txtmodeloPolipasto.getText();

    try {
        // TODO add your handling code here:
        String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

        Connection con = null;
        Class.forName(sDriver).newInstance();
        con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
        "");

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT id FROM polipastos where
Modelo = '" + modeloPolipasto + "'");
        while (rs.next()) {

            id = rs.getInt(1);
        }

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }
}

```

```

        Double Capacidad =
Double.parseDouble(txtcapacidadPolipasto.getText());
        String Clase = txtclasepolipasto.getText();
        Double AlturaIzaje =
Double.parseDouble(txtAlturaIzajePolipasto.getText());
        Double VIZajeMax =
Double.parseDouble(txtVelIzaMaxPolipasto.getText());
        Double Vtrolley =
Double.parseDouble(txtVelTrolleyPolipasto.getText());
        Double PesoLowHR =
Double.parseDouble(txtPesolowPolipasto.getText());
        String RangoSujecion = txtRangosujecionPolipasto.getText();
        Double AnchoRuedaLow =
Double.parseDouble(txtAnchoruedaLowPolipasto.getText());
        Double PesoNormalHR =
Double.parseDouble(txtPesoNormalPolipasto.getText());
        Double AnchoRuedaNormal =
Double.parseDouble(txtAnchoRuedaNormalPolipasto.getText());
        Double PesoDoubleGirder =
Double.parseDouble(txtPesoDoublePolipasto.getText());
        Double a1 = Double.parseDouble(txta1Polipasto.getText());
        Double a2 = Double.parseDouble(txta2Polipasto.getText());

try {
    // TODO add your handling code here:
    String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
    String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

    Connection con = null;
    Class.forName(sDriver).newInstance();
    con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
    "");

    PreparedStatement pstmt = con.prepareStatement("UPDATE
polipastos "

        + "set Modelo= ? , "
        + "Capacidad= ? , "
        + "Clase= ? , "
        + "AlturaIzaje= ? , "
        + "VIZajeMax= ? , "
        + "Vtrolley= ? , "
        + "PesoLowHR= ? , "
        + "RangoSujecion= ? , "
        + "AnchoRuedaLow= ? , "
        + "PesoNormalHR= ? , "
        + "AnchoRuedaNormal= ? , "
        + "PesoDoubleGirder= ? , "
        + "a1= ? , "
        + "a2= ? "
        + "where id=" + id);
    pstmt.setString(1, txtmodeloPolipasto.getText());
    pstmt.setDouble(2,
Double.parseDouble(txtcapacidadPolipasto.getText()));
    pstmt.setString(3, txtclasepolipasto.getText());
    pstmt.setDouble(4,
Double.parseDouble(txtAlturaIzajePolipasto.getText()));

```

```

        pstmt.setDouble(5,
Double.parseDouble(txtVelIzaMaxPolipasto.getText()));
        pstmt.setDouble(6,
Double.parseDouble(txtVelTrolleyPolipasto.getText()));
        pstmt.setDouble(7,
Double.parseDouble(txtPesolowPolipasto.getText()));
        pstmt.setString(8, txtRangosujecionPolipasto.getText());
        pstmt.setDouble(9,
Double.parseDouble(txtAnchoruedaLowPolipasto.getText()));
        pstmt.setDouble(10,
Double.parseDouble(txtPesoNormalPolipasto.getText()));
        pstmt.setDouble(11,
Double.parseDouble(txtAnchoRuedaNormalPolipasto.getText()));
        pstmt.setDouble(12,
Double.parseDouble(txtPesoDoublePolipasto.getText()));
        pstmt.setDouble(13,
Double.parseDouble(txta1Polipasto.getText()));
        pstmt.setDouble(14,
Double.parseDouble(txta2Polipasto.getText()));

        pstmt.executeUpdate();

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    CargarTablaPolipastos();

}

public void InsertarPolipastos() {

    VaciarTablaPolipastos();

    try {
        String modeloPolipasto = txtmodeloPolipasto.getText();
        double capacidadPolipasto =
Double.parseDouble(txtcapacidadPolipasto.getText());
        String clasePolipasto = txtclasepolipasto.getText();
        double alturaizaje =
Double.parseDouble(txtAlturaIzajePolipasto.getText());
        double vIzajeMax =
Double.parseDouble(txtVelIzaMaxPolipasto.getText());

```

```

        double vtrolley =
Double.parseDouble(txtVelTrolleyPolipasto.getText());
        double pesoLowPolipasto =
Double.parseDouble(txtPesolowPolipasto.getText());
        String rangoSujecionPolipasto =
txtRangosujecionPolipasto.getText();
        double anchoRuedaLowPolipasto =
Double.parseDouble(txtAnchoruedaLowPolipasto.getText());
        double pesoNormalPolipasto =
Double.parseDouble(txtPesoNormalPolipasto.getText());
        double anchoRuedaNormalPolipasto =
Double.parseDouble(txtAnchoRuedaNormalPolipasto.getText());
        double pesoDoubleGirder =
Double.parseDouble(txtPesoDoublePolipasto.getText());
        double alPolipasto =
Double.parseDouble(txtalPolipasto.getText());
        double a2Polipasto =
Double.parseDouble(txta2Polipasto.getText());

        Connection con = null;
        con = conexion();
        PreparedStatement enrollItmt;
        enrollItmt = con.prepareStatement("INSERT INTO
polipastos(Modelo, Capacidad, Clase, AlturaIzaje, VIzajeMax, Vtrolley,
PesoLowHR, RangoSujecion, AnchoRuedaLow, PesoNormalHR, AnchoRuedaNormal,
PesoDoubleGirder, al, a2) VALUES ('" + modeloPolipasto + "','" +
capacidadPolipasto + "','" + clasePolipasto + "','" + alturaizaje + "','" +
vIzajeMax + "','" + vtrolley + "','" + pesoLowPolipasto + "','" +
rangoSujecionPolipasto + "','" + anchoRuedaLowPolipasto + "','" +
pesoNormalPolipasto + "','" + anchoRuedaNormalPolipasto + "','" +
pesoDoubleGirder + "','" + alPolipasto + "','" + a2Polipasto + "')");
        enrollItmt.execute();

    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TablePolipastosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    CargarTablaPolipastos();

}

public void CargarTablaPolipastos() {

    try {
        // TODO add your handling code here:
        Connection con = null;
        con = conexion();

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("Select Modelo, Capacidad, Clase,
AlturaIzaje, VIzajeMax, Vtrolley, PesoLowHR, RangoSujecion, AnchoRuedaLow,
PesoNormalHR, AnchoRuedaNormal, PesoDoubleGirder, al, a2 from polipastos");
        Object datos[] = new Object[14];
        while (rs.next()) {

```

```

        for (int i = 0; i < 14; i++) {
            datos[i] = rs.getObject(i + 1);
        }
        modelPolipastoUpdater.addRow(datos);
    }

    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    }

    public void VaciarTablaPolipastos() {
        while (modelPolipastoUpdater.getRowCount() > 0) {
            modelPolipastoUpdater.removeRow(0);
        }

    }

    public void BorrarTesteros() {

    }

    public void BuscarTesteros() {

        String modelo = txtModeloTestero.getText();

        try {
            // TODO add your handling code here:
            String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
            String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

            Connection con = null;
            Class.forName(sDriver).newInstance();
            con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
""");

            Statement s = con.createStatement();

            ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT AnchoRodadura,
DiametroRueda, DistanciaEntreRuedas, Peso, SingleGirder, DoubleGirder FROM
testeros where Modelo = '" + modelo + "'");
            while (rs.next()) {

                txtAnchoRodaduraTestero.setText(rs.getString(1));
                txtDiametroRuedaTestero.setText(rs.getString(2));
                txtDistanciaEntreRuedasTestero.setText(rs.getString(3));
                txtPesoTestero.setText(rs.getString(4));
                txtMonorrielTestero.setText(rs.getString(5));
                txtBirrielTestero.setText(rs.getString(6));
            }

        } catch (ClassNotFoundException ex) {
Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

```

```

        } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        }

    }

    public void ActualizarTesteros() {

        VaciarTablaTesteros();
        Integer id = 0;
        String modeloTesteros = txtModeloTestero.getText();

        try {
            // TODO add your handling code here:
            String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
            String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

            Connection con = null;
            Class.forName(sDriver).newInstance();
            con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
"");

            Statement s = con.createStatement();

            ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT id FROM testeros where
Modelo = '" + modeloTesteros + "'");
            while (rs.next()) {

                id = rs.getInt(1);
            }

        } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);

```



```

    }

    String AnchoRodadura = txtAnchoRodaduraTestero.getText();
    Double DiametroRueda =
Double.parseDouble(txtDiametroRuedaTestero.getText());
    Double DistanciaEntreRuedas =
Double.parseDouble(txtdistanciaEntreRuedasTestero.getText());
    Double Peso = Double.parseDouble(txtPesoTestero.getText());
    String SingleGirder = txtMonorrielTestero.getText();
    String DoubleGirder = txtBirrielTestero.getText();

    try {
        // TODO add your handling code here:
        String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

        Connection con = null;
        Class.forName(sDriver).newInstance();
        con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
""");

        PreparedStatement pstmt = con.prepareStatement("UPDATE testeros
"

        + "set Modelo= ? , "
        + "AnchoRodadura= ? , "
        + "DiametroRueda= ? , "
        + "DistanciaEntreRuedas= ? , "
        + "Peso= ? , "
        + "SingleGirder= ? , "
        + "DoubleGirder= ? "
        + "where id=" + id);
        pstmt.setString(1, txtModeloTestero.getText());
        pstmt.setString(2, txtAnchoRodaduraTestero.getText());
        pstmt.setDouble(3,
Double.parseDouble(txtDiametroRuedaTestero.getText()));
        pstmt.setDouble(4,
Double.parseDouble(txtdistanciaEntreRuedasTestero.getText()));
        pstmt.setDouble(5,
Double.parseDouble(txtPesoTestero.getText()));
        pstmt.setString(6, txtMonorrielTestero.getText());
        pstmt.setString(7, txtBirrielTestero.getText());

        pstmt.executeUpdate();

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

        Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

        Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

        Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

```

```

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    CargarTablaTesteros();

}

public void InsertarTesteros() {

    VaciarTablaTesteros();

    try {
        String modeloTestero = txtModeloTestero.getText();
        String AnchoRodaduraTestero =
txtAnchoRodaduraTestero.getText();
        double DiametroRuedaTestero =
Double.parseDouble(txtDiametroRuedaTestero.getText());
        double DistanciaEntreRuedasTestero =
Double.parseDouble(txtdistanciaEntreRuedasTestero.getText());
        double PesoTestero =
Double.parseDouble(txtPesoTestero.getText());
        String SingleGirderTestero = txtMonorrielTestero.getText();
        String DoubleGirderTestero = txtBirrielTestero.getText();

        // TODO add your handling code here:
        Connection con = null;
        con = conexion();
        PreparedStatement enrollItmt;
        enrollItmt = con.prepareStatement("INSERT INTO testeros(Modelo,
AnchoRodadura,DiametroRueda,DistanciaEntreRuedas, Peso, SingleGirder,
DoubleGirder) VALUES ('" + modeloTestero + "','" + AnchoRodaduraTestero +
"', '" + DiametroRuedaTestero + "', '" + DistanciaEntreRuedasTestero + "', '" +
PesoTestero + "', '" + SingleGirderTestero + "','" + DoubleGirderTestero +
"')");

        enrollItmt.execute();

    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableTesterosUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    CargarTablaTesteros();

}

public void CargarTablaTesteros() {

    try {
        // TODO add your handling code here:
        Connection con = null;
        con = conexion();

        Statement s = con.createStatement();

```

```

        ResultSet rs = s.executeQuery("Select Modelo, AnchoRodadura,
DiametroRueda, DistanciaEntreRuedas, Peso, SingleGirder, DoubleGirder from
testeros");
        Object datos[] = new Object[7];
        while (rs.next()) {
            for (int i = 0; i < 7; i++) {
                datos[i] = rs.getObject(i + 1);
            }
            modelTesteroUpdater.addRow(datos);
        }

    } catch (SQLException ex) {

        Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

}

public void VaciarTablaTesteros() {
    while (modelTesteroUpdater.getRowCount() > 0) {
        modelTesteroUpdater.removeRow(0);
    }
}

public void BorrarMotores() {

}

public void BuscarMotores() {
    String modelo = txtModelo.getText();

    try {
        // TODO add your handling code here:
        String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

        Connection con = null;
        Class.forName(sDriver).newInstance();
        con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
"");

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT PotenciaHP, PotenciaKW,
VelRPM, Eficiencia, I220V, I440V FROM motores where Modelo = '" + modelo +
"'");

        while (rs.next()) {

            txtPotenciaHP.setText(rs.getString(1));
            txtPotenciaKW.setText(rs.getString(2));
            txtVelocidad.setText(rs.getString(3));
            txtEficiencia.setText(rs.getString(4));
            txtI220V.setText(rs.getString(5));
            txtI440V.setText(rs.getString(6));
        }
    }
}

```

```

        } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        }

    }

    public void ActualizarMotores() {
        vaciarTablaMotores();
        Integer id = 0;
        String modelo = txtModelo.getText();

        try {
            // TODO add your handling code here:
            String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
            String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

            Connection con = null;
            Class.forName(sDriver).newInstance();
            con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
""");

            Statement s = con.createStatement();

            ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT id FROM motores where
Modelo = '" + modelo + "'");
            while (rs.next()) {

                id = rs.getInt(1);
            }

        } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);

```

```

    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    Double PotenciaHP = Double.parseDouble(txtPotenciaHP.getText());
    Double PotenciakW = Double.parseDouble(txtPotenciakW.getText());
    Double Velocidad = Double.parseDouble(txtVelocidad.getText());
    Double Eficiencia = Double.parseDouble(txtEficiencia.getText());
    Double Amperaje220V = Double.parseDouble(txtI220V.getText());
    Double Amperaje440V = Double.parseDouble(txtI440V.getText());

    try {
        // TODO add your handling code here:
        String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

        Connection con = null;
        Class.forName(sDriver).newInstance();
        con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
        "");

        PreparedStatement pstm = con.prepareStatement("UPDATE motores "
            + "set Modelo= ? , "
            + "PotenciaHP= ? , "
            + "PotenciaKW= ? , "
            + "VelRPM= ? , "
            + "Eficiencia= ? , "
            + "I220V= ? , "
            + "I440V= ? "
            + "where id=" + id);
        pstm.setString(1, txtModelo.getText());
        pstm.setDouble(2, Double.parseDouble(txtPotenciaHP.getText()));
        pstm.setDouble(3, Double.parseDouble(txtPotenciakW.getText()));
        pstm.setDouble(4, Double.parseDouble(txtVelocidad.getText()));
        pstm.setDouble(5, Double.parseDouble(txtEficiencia.getText()));
        pstm.setDouble(6, Double.parseDouble(txtI220V.getText()));
        pstm.setDouble(7, Double.parseDouble(txtI440V.getText()));

        pstm.executeUpdate();

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

```

```

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    CargarTablaMotores();
}

public void InsertarMotores() {
    vaciarTablaMotores();

    try {
        String modelo = txtModelo.getText();
        double potenciaHP =
Double.parseDouble(txtPotenciaHP.getText());
        double potenciaKW =
Double.parseDouble(txtPotenciakW.getText());
        double VelocidadRPM =
Double.parseDouble(txtVelocidad.getText());
        double Eficiencia =
Double.parseDouble(txtEficiencia.getText());
        double I220V = Double.parseDouble(txtI220V.getText());
        double I440V = Double.parseDouble(txtI440V.getText());

        // TODO add your handling code here:
        Connection con = null;
        con = conexion();
        PreparedStatement enrollItmt;
        enrollItmt = con.prepareStatement("INSERT INTO motores (Modelo,
PotenciaHP, PotenciaKW, VelRPM, Eficiencia, I220V, I440V) VALUES ('" + modelo
+ "'," + potenciaHP + "," + potenciaKW + "," + VelocidadRPM + "," +
Eficiencia + "," + I220V + "," + I440V + ")");
        enrollItmt.execute();

    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    CargarTablaMotores();
}

public void CargarTablaMotores() {

    try {
        // TODO add your handling code here:
        Connection con = null;
        con = conexion();

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("Select Modelo, PotenciaHP,
PotenciaKW, VelRPM, Eficiencia, I220V, I440V from Motores");
        Object datos[] = new Object[7];
        while (rs.next()) {
            for (int i = 0; i < 7; i++) {

```

```

        datos[i] = rs.getObject(i + 1);
    }
    modelMotorUpdater.addRow(datos);
}

} catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
}

}

void vaciarTablaMotores() {
    while (modelMotorUpdater.getRowCount() > 0) {
        modelMotorUpdater.removeRow(0);
    }
}

public void BorrarReductores() {

}

public void BuscarReductores() {

    String modelo = txtmodeloReductor.getText();

    try {
        // TODO add your handling code here:
        String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

        Connection con = null;
        Class.forName(sDriver).newInstance();
        con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
"");

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT VelRPM, Mn2, I, Pn1,
Eficiencia FROM reductores where Modelo = '" + modelo + "'");
        while (rs.next()) {

            txtVelRpmReductor.setText(rs.getString(1));
            txtParNominalSalidaReductor.setText(rs.getString(2));
            txtRelacionReduccionReductor.setText(rs.getString(3));
            txtPotenciaNominalReductor.setText(rs.getString(4));
            txtEficienciaReductor.setText(rs.getString(5));
        }

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

```

```

Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }
}

public void ActualizarReductores() {

    VaciarTablaReductores();
    Integer id = 0;
    String modelo = txtmodeloReductor.getText();

    try {
        String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
        String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

        Connection con = null;
        Class.forName(sDriver).newInstance();
        con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
        "");

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("SELECT id FROM reductores where
Modelo = '" + modelo + "'");
        while (rs.next()) {

            id = rs.getInt(1);
        }

    } catch (ClassNotFoundException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (InstantiationException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (IllegalAccessException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    } catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableMotoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    Double VelRPM = Double.parseDouble(txtVelRpmReductor.getText());

```



```

        Double Mn2 =
Double.parseDouble(txtParNominalSalidaReductor.getText());
        Double I =
Double.parseDouble(txtRelacionReduccionReductor.getText());
        Double Pn1 =
Double.parseDouble(txtPotenciaNominalReductor.getText());
        Double Eficiencia =
Double.parseDouble(txtEficienciaReductor.getText());

        try {
            String sDriver = "com.mysql.jdbc.Driver";
            String sURL = "jdbc:mysql://localhost:3306/bdtesis";

            Connection con = null;
            Class.forName(sDriver).newInstance();
            con = (Connection) DriverManager.getConnection(sURL, "root",
"");

            PreparedStatement pstmt = con.prepareStatement("UPDATE
reductores "
                + "set Modelo= ? , "
                + "VelRPM= ? , "
                + "Mn2= ? , "
                + "I= ? , "
                + "Pn1= ? , "
                + "Eficiencia= ? "
                + "where id=" + id);
            pstmt.setString(1, txtmodeloReductor.getText());
            pstmt.setDouble(2,
Double.parseDouble(txtVelRpmReductor.getText()));
            pstmt.setDouble(3,
Double.parseDouble(txtParNominalSalidaReductor.getText()));
            pstmt.setDouble(4,
Double.parseDouble(txtRelacionReduccionReductor.getText()));
            pstmt.setDouble(5,
Double.parseDouble(txtPotenciaNominalReductor.getText()));
            pstmt.setDouble(6,
Double.parseDouble(txtEficienciaReductor.getText()));

            pstmt.executeUpdate();

        } catch (ClassNotFoundException ex) {

            Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (InstantiationException ex) {

            Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (IllegalAccessException ex) {

            Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
        } catch (SQLException ex) {

            Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);

```

```

    }

    CargarTablaReductores();

}

public void InsertarReductores() {

    VaciarTablaReductores();

    try {
        String modeloReductores = txtmodeloReductor.getText();
        double VelRPMReductores =
Double.parseDouble(txtVelRpmReductor.getText());
        double Mn2Reducores =
Double.parseDouble(txtParNominalSalidaReductor.getText());
        double IReductores =
Double.parseDouble(txtRelacionReduccionReductor.getText());
        double Pn1Reductores =
Double.parseDouble(txtPotenciaNominalReductor.getText());
        double EficienciaReductores =
Double.parseDouble(txtEficienciaReductor.getText());

        // TODO add your handling code here:
        Connection con = null;
        con = conexion();
        PreparedStatement enrollItmt;
        enrollItmt = con.prepareStatement("INSERT INTO
reductores(Modelo, VelRPM,Mn2,I, Pn1, Eficiencia) VALUES ('" +
modeloReductores + "','" + VelRPMReductores + "','" + Mn2Reducores + "','" +
IReductores + "','" + Pn1Reductores + "','" + EficienciaReductores + "')");
        enrollItmt.execute();

    } catch (SQLException ex) {

        Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
    }

    CargarTablaReductores();

}

public void CargarTablaReductores() {

    try {
        // TODO add your handling code here:
        Connection con = null;
        con = conexion();

        Statement s = con.createStatement();

        ResultSet rs = s.executeQuery("Select Modelo, VelRPM, Mn2, I,
Pn1, Eficiencia from reductores");
        Object datos[] = new Object[6];
        while (rs.next()) {
            for (int i = 0; i < 6; i++) {

```

```

        datos[i] = rs.getObject(i + 1);
    }
    modelReductoresUpdater.addRow(datos);
}

} catch (SQLException ex) {

Logger.getLogger(TableReductoresUpdater.class.getName()).log(Level.SEVERE,
null, ex);
}

}

public void VaciarTablaReductores() {

    while (modelReductoresUpdater.getRowCount() > 0) {
        modelReductoresUpdater.removeRow(0);
    }

}

```